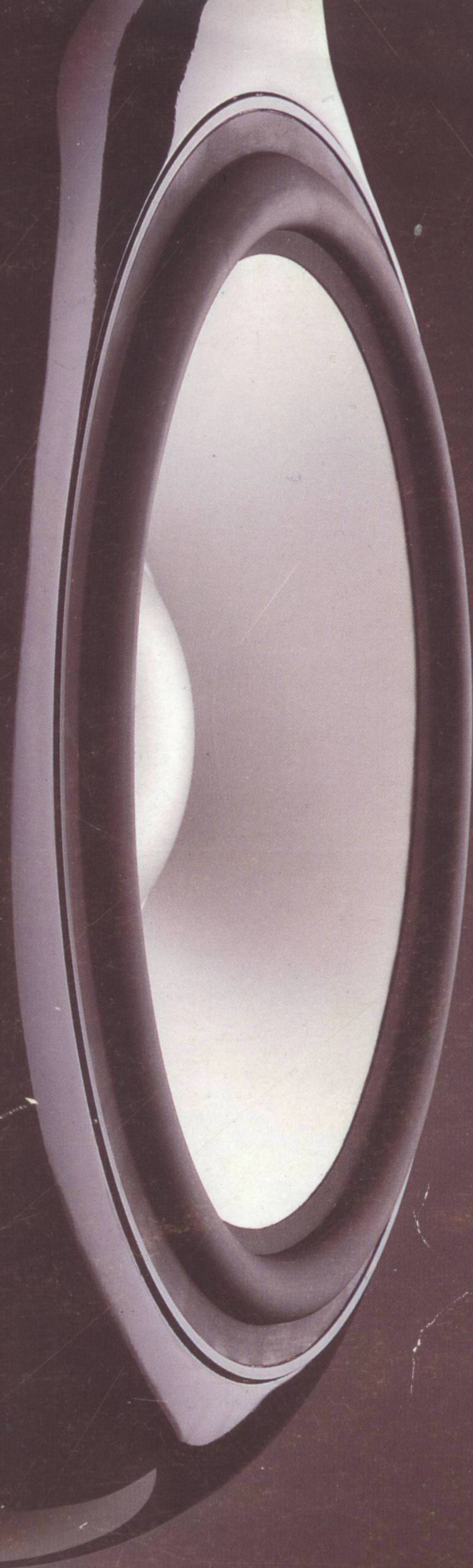
Методија Камиловски



АКУСТИКА

УНИВЕРЗИТЕТ "СВ.КИРИЛ И МЕТОДИЈ"

ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ – СКОПЈЕ

Проф. д-р Методија Камиловски

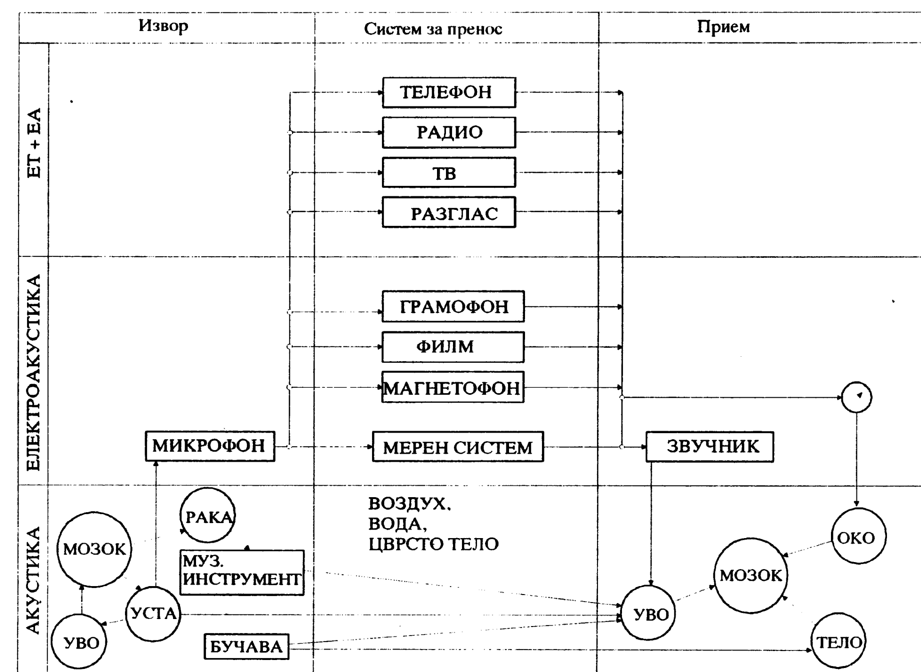
ЕЛЕКТРОАКУСТИКА

Умножени предавања

Скопје, 2000 година

ВОВЕД

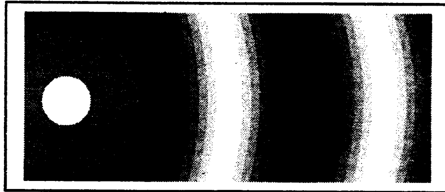
- Органот за слух служи за:
  - За комуникација меѓу луѓето,
  - За предупредување од опасности,
  - За емоционално задоволство преку песна и музика.
- Акустиката е дел од физиката што се занимава со настанувањето, простирањето и приемот на звук.
- Таа се јавува уште во стара Грција.
- Се развива во 18 и 19 век кога се поставени основните закони.
- Во втората половина на 19 век се јавува електроакустиката (ЕА).
- Звукот се претвора електричен сигнал. Така тој може да се складира и пренесува во простор и време.
- Тоа предизвикува примена на ЕА во многу области од човековата дејност: музиката, лингвистиката, архитектурата, градежништвото, машинството, индустријата, морепловството, рибарството, медицината, земјоделието, сточарството и т.н.
- Електроинженерот се бави со ЕА уреди за складирање, обработка и пренос на аудио сигналот.
- За успешно да одговори на овие задачи тој мора да ги знае основните закони за акустиката, како и законите на физиолошката акустика.
- Само така ќе се направат квалитетни ЕА системи и нив успешно ќе ги користи.
- Посебно место на ел.инж. е во процесот на мерење во акустиката кои денес исклучиво се прави со електронски инструменти.

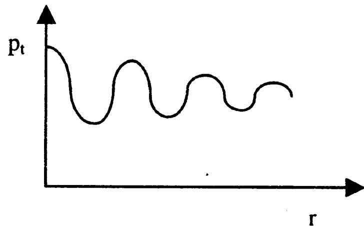


1. ЗРАЧЕЊЕ И ПРОСТИРАЊЕ НА ЗВУЧНИ БРАНОВИ

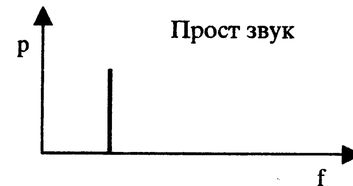
1.1 Поим за звук

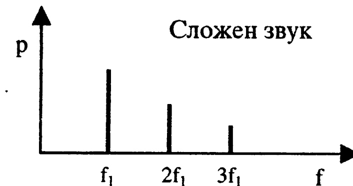
- Звукот се простира во еластична средина: воздух, вода или цврсто тело.
- Ако дојде до промена на стационарната состојба на честичките од средината, тоа се нарекува акустички осцилации.
- Оваа промена се манифестира со промена на притисокот или густината на средината.
- Неа ја предизвикува изворот на звук и таа се шири со одредена брзина во просторот во вид на звучни бранови.
- Разликуваме лонгитудинални и трансферзални бранови.
- Пример: Мало топче го менува својот волумен. Со него се потиснуваат молекулите на воздухот, се зголемува нивната густина и почнува да ги потиснува соседните слоеви.
- Во просторот доаѓа до промена на притисокот и тоа се нарекува звучно поле.





- Притисокот во една точка од просторот се менува со времето и со координатата на точката. Молекулите на воздухот не се поместуваат, туку се пренесува нивното движење околу стационарната состојба.
- Основни параметри: λ, T, f.
  $p_t = p_s + p,\qquad p \ll p_s$
- Како се шири звучниот бран, така опаѓа неговиот интензитет бидејќи се намалува енергијата во единица волумен од просторот.

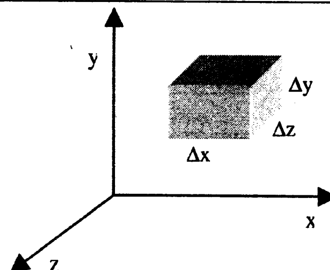






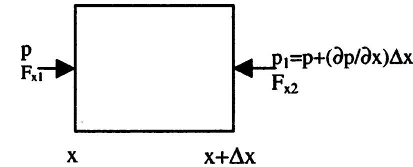
- Звук: 20Hz до 20kHz.
- Инфразвук: <20Hz,
- Ултразвук >20kHz.
- За сите важат исти закони.

1.2 Акустичка бранова равенка



- Со звучниот бран се врши поместување и експанзија на елементарниот волумен.

1. Поместување



$$F_x = F_{x1} - F_{x2} = p\Delta y\Delta z - (p + \frac{\partial p}{\partial x}\Delta x)\Delta y\Delta z$$

$$F_x = -\frac{\partial p}{\partial x}\Delta V = m\vec{a}_x$$

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} \approx \frac{\partial v_x}{\partial t} \qquad (?)$$

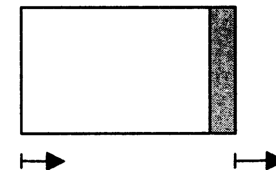
$m=\rho\Delta V$

$$\frac{\partial p}{\partial x} = -\rho\frac{\partial v_x}{\partial t},\ \frac{\partial p}{\partial y} = -\rho\frac{\partial v_y}{\partial t},\ \frac{\partial p}{\partial z} = -\rho\frac{\partial v_z}{\partial t}$$

$$grad(p) = -\rho\frac{\partial \vec{v}}{\partial t}$$

$$div(grad(p)) = \nabla^2 p = -\rho div(\frac{\partial \vec{v}}{\partial t})$$

2. Експанзија или компресија



$$d\Delta V_x = (\frac{\partial v_x}{\partial x}\Delta xdt)\Delta y\Delta z$$

$$d\Delta V_x = \frac{\partial v_x}{\partial x}\Delta Vdt$$

$$d\Delta V = (\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z})\Delta Vdt$$

$$\frac{d(\Delta V)}{\Delta V} = div(\vec{v})dt \qquad (1)$$

- Процесот е адијабатски:

$$p_t\Delta V^{\kappa} = const$$

- Топлинската енергија во елементарниот волумен не се менува. Q=const.

$$\kappa = \frac{c_p}{c_V}$$

- c_p – специфична топлина при константен притисок.

$$dp_t\Delta V^{\kappa} + \kappa p_t\Delta V^{\kappa-1}d\Delta V = 0$$

$$\frac{d\Delta V}{\Delta V} = -\frac{dp_t}{\kappa p_t} = -\frac{dp}{\kappa p_t} = div(\vec{v})dt$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} \approx \frac{dp}{dt} = -\kappa p_t div(\vec{v})$$

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = -\kappa p_s div(\frac{\partial \vec{v}}{\partial t})$$

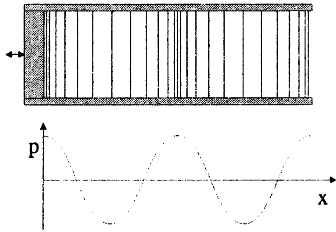
$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = \frac{\kappa p_s}{\rho}\nabla^2 p$$

$$\boxed{\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = c^2\nabla^2 p}$$

- Равенка за простирање на звучниот бран. Бранова равенка.

$$c^2 = \frac{\kappa p_s}{\rho}$$

- Се користи притисокот, бидејќи тој лесно се мери а и човечкото уво реагира на промена на притисокот.
- SI - 1Pa = 1N/m^2
- cgs - 1μb = 1dyn/cm^2
- 1μb = 0,1Pa



1.3 Рамен бран

- Во права цевка со идеално крути и мазни ѕидови.
- На почетокот има рамен клип кој се движи напред-назад.

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2}=c^2\frac{\partial^2 p}{\partial x^2}$$

- Побудата е синусоиден сигнал и решението се бара во стационарна состојба.
- Одзивот е синусоиден сигнал, во комплексен облик:

$$p(x,t)=p(x)e^{j\omega t}$$

$$\frac{\partial p}{\partial t}=j\omega p(x)e^{j\omega t}$$

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2}=-\omega^2 p(x)e^{j\omega t}$$

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2}=\frac{\partial^2 p(x)}{\partial x^2}e^{j\omega t}$$

$$-\omega^2 p(x)=c^2\frac{\partial^2 p}{\ }$$

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2}+(\frac{\omega}{c})^2 p(x)=0$$

$k=\frac{\omega}{c}$ .. фазна константа.

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2}+k^2 p(x)=0$$

$$p(x)=p_+e^{-jkx}+p_-e^{+jkx}$$

$$p(x,t)=p_+e^{j(\omega t-kx)}+p_-e^{j(\omega t+kx)}$$

прогресивен бран + рефлектиран бран

- Ако цевката е бесконечно долга:

$$p(x,t)=pe^{j(\omega t-kx)}$$

$$p=\bar{p}\cos(\omega t-kx)$$

- c - брзина на простирање на звучниот бран.

$\omega T - k\lambda = 0$ $\qquad c=\frac{\lambda}{T}=\frac{\omega}{k}=\lambda f$

$$k=\frac{\omega}{c}=\frac{2\pi}{\lambda}$$

- Притисокот не опаѓа со пораст на растојанието x. Нема загуби на акустичката енергија.
- Тоа не е точно. Акустичката енергија се губи при триење со ѕидовите на цевката и во самиот воздух.
- Со помош на мазна и крута цевка звукот може да се пренесе на големо растојание (пример).

1.4 Брзина на простирање на звукот

$$c=\sqrt{\frac{\kappa p_s}{\rho}}$$

$$p_s V = R_g T$$

- R_g – гасна константа
- T – апсолутна температура

$$c=\sqrt{\frac{\kappa p_s}{m/V}}=\sqrt{\frac{\kappa}{m}R_g T}$$

$$c=c_o\sqrt{\frac{T}{273}}$$

- c_o – брзина на звук на 0^0C.
- p_s =101325Pa,
- ρ = 1,293(kg/m^3), κ = 1,4.
- c_o = 331,4 (m/s)

$c = c_o + 0,6\Theta$
- за Θ=20^{0}C → c=343(m/s)

вода 1440(m/s)
метал 3000-5000(m/s)
дрво 3600-4600(m/s)
рластика 1000-2500(m/s)
мека гума 70(m/s).

F(Hz)	20	100	1k	10k	20k
λ (m)	17,1	3,43	0,34	3,4c	1,7c

1.5 Брзина и поместување на честичките

$$grad(p)=-\rho\frac{\partial\vec{v}}{\partial t}$$

- v – брзина на честичките.
- p и v се синусоидни величини.

$$\frac{\partial p}{\partial x}=-j\rho\omega v$$

$$p(x,t)=pe^{j(\omega t-kx)}$$

$$v=j\frac{1}{\rho\omega}\frac{\partial p}{\partial x}=\frac{k}{\rho\omega}p=\frac{1}{\rho c}p$$

$$\frac{p}{v}=\rho c$$

- ζ – поместување на честичките.

$$\xi=\int v dt=\frac{v}{\omega}$$

1.6 Специфична акустична импеданса

- Равенка за електричен вод:

$$\frac{\partial U}{\partial x}=-L'\frac{\partial I}{\partial t} \qquad \frac{\partial U}{\partial t}=-\frac{1}{C'}\frac{\partial I}{\partial x}$$

- Равенка за акустичен бран:

$$\frac{\partial p}{\partial x}=-\rho\frac{\partial v}{\partial t} \qquad \frac{\partial p}{\partial t}=-\rho c^2\frac{\partial v}{\partial x}$$

- L' i C' инд.и кап.по единица должина.
- Аналогија:

p → U
v → I
ρ → L'
ρc^2 → 1/C'

- $Z_c=\sqrt{\frac{L'}{C'}}$ .. карактеристична импеданса на електричен вод.

$$Z_{sc}=\sqrt{\frac{\rho}{1/\rho c^2}}=\rho c$$

- Z_{sc} – специфична акустична карактеристична импеданса на

- Специфична - не зависи од димензиите на звуководот.

$\rho c = 414(kg/s \cdot m^2)$ na 20^0C

- $p = 1\mu b = 0{,}1Pa$ $\quad f = 1kHz$.

$$v = \frac{p}{\rho c} = \frac{0{,}1}{414} = 0{,}02(\frac{cm}{s})$$

$$\xi = \frac{v}{\omega} = \frac{0{,}02}{2\pi 10^3} = 4 \cdot 10^{-6}(cm)$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{\partial v}{dt} + \frac{\partial v}{dx}\frac{\partial x}{dt} = \frac{\partial v}{dt} + v\frac{\partial v}{dx}$$

$$p(x,t) = pe^{j(\omega t - kx)}$$

$$|\frac{\partial v}{\partial t}| = \omega v$$

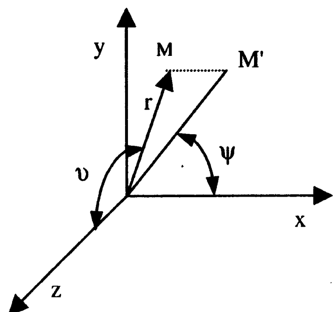
$$|v\frac{\partial v}{\partial x}| = vkv = \frac{\omega}{c}v^2 = \omega v\frac{v}{c}$$

- Како е $v/c << 1 \rightarrow \frac{dv}{dt} \approx \frac{\partial v}{\partial t}$

$$Z_s = \frac{p}{v}$$

- Специфична акустична импеданса. Таа има општо значење во акустиката.

1.7 Сферни бранови



$x = r \cdot \sin\upsilon \cdot \cos\psi$
$y = r \cdot \sin\upsilon \cdot \sin\psi$
$z = r \cdot \cos\upsilon$

- Решението за брановата равенка за сферни бранови полесно се добива во сферен координатен систем.

$$\frac{\partial^2(pr)}{\partial t^2} = c^2\frac{\partial^2(pr)}{\partial r^2}$$

$$pr = Ae^{j(\omega t - kr)} \qquad p = \frac{A}{r}e^{j(\omega t - kr)}$$

$pr = const$ $\qquad p_1 r_1 = p_2 r_2$

$$grad(p) = -\rho\frac{\partial v}{\partial t}$$

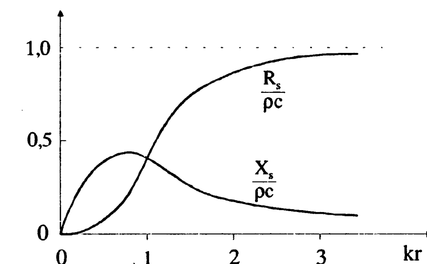
$$\frac{\partial p}{\partial r} = -\rho\frac{\partial v}{\partial t} = -j\rho\omega v$$

$$v = j\frac{1}{\rho\omega}\frac{\partial p}{\partial r} = \frac{1 + jkr}{j\rho\omega}\frac{A}{r^2}e^{j(\omega t - kr)}$$

$$Z_{sc} = \frac{p}{v} = \frac{j\rho ckr}{1 + jkr} \qquad tg\varphi = \frac{1}{kr}$$

$$Z_{sc} = \frac{\rho ckr}{\sqrt{1 + (kr)^2}}e^{j\varphi} = \rho c \cos\varphi e^{j\varphi}$$

$$Z_{sc} = R_s + jX_s = \frac{\rho c(kr)^2}{1 + (kr)^2} + j\frac{\rho ckr}{1 + (kr)^2}$$



- За kr>>3 сферните бранови поминуваат во рамен бран.
- $kr = 2\pi r/\lambda = 2\pi$, $\rightarrow$ За $r = \lambda$ $(kr >> 1)$

1.8. ИНТЕНЗИТЕТ НА ЗВУК

$$P = UI\cos\varphi$$

Кај електричен вод, ова е моќност или енергија во единица време.

$$J = pv\cos\varphi$$

Во акустика ова е моќност по единица површина или ИНТЕНЗИТЕТ НА ЗВУК. Тоа е енергија што во единица време поминува низ единица површина.

$$J_x = pv = p^2/\rho c = v^2\rho c$$

(за рамен бран)

$$J_r = pv\cos\varphi = p^2/\rho c = v^2\rho c\cos^2\varphi$$

(за сферен бран)

$$J_x = J_r = J = \frac{p^2}{\rho c}$$

(за сите видови на бранови)

За рамен бран:

$$P = SJ$$

Енергија во единица време што се пренесува низ одредена површина. P е акустичка моќност.

$$P_a = SJ = 4\pi r^2 J_r$$

Ова е вкупна акустичка моќност која во единица време оди во просторот надвор од топката. Тоа е моќност на зрачење на изворот.

$$P_a = \oint \vec{J}d\vec{S}$$

Општ израз за моќност на зрачење на изворот.

1.9 ГУСТИНА НА АКУСТИЧКА ЕНЕРГИЈА

- Акустичката енергија што ја создава изворот се пренесува на далечина со помош на еластичната средина, воздухот.
- При тоа молекулите на воздухот осцилираат и тие поседуваат одредена акустичка енергија.
- Густина на акустичка енергија или енергија во единица волумен, се означува со E.

$$E = \frac{dW}{dV}$$

- W е енергијата во просторот.
- Енергија=Кинетичка+Потенцијална
- Елементарен волумен ΔV од просторот, трпи поместување и експанзија.

$$\Delta W_{kin} = \frac{\Delta mv^2}{2} = \frac{\rho\Delta Vv^2}{2}$$

$$E_{kin} = \frac{\Delta W_{kin}}{\Delta V} = \frac{\rho v}{2}$$

$$d\Delta W_{pot} = -pd(\Delta V)$$

- За адијабатски процес важи:

$$\frac{d\Delta V}{\Delta V} = -\frac{1}{\rho c^2}dp$$

$$dE_{pot} = \frac{d\Delta W_{pot}}{\Delta V} = \frac{pdp}{\rho c^2}$$

$$E_{pot} = \frac{p^2}{2\rho c^2}$$

$$E_t = E_{pot} + E_{kin} = \frac{p^2}{2\rho c^2} + \frac{\rho v^2}{2}$$

- За рамен бран:

$$E = \frac{p^2}{\rho c^2}$$

$$J_x = Ec$$

За сферен бран:

$$E=\frac{p^2}{\rho c^2}[1+\frac{1}{2(kr)^2}]$$

- За kr>>1, E е ист како кај рамен бран.
- За kr<<1, E е големо. Енергијата е содржана во просторот околу изворот и таа се пренесува на далечина. Енергијата се акумулира во просторот поради тоа што специфичната акустичката бранова импеданса е претежно индуктивна.

1.10 АКУСТИЧКА ИМПЕДАНСА

- Наместо брзина v, воведуваме проток q:

$$dq=vdS$$

- Единица за проток е m^3/s или cm^3/s.
- Равенките за рамен бран во една цевка се:

$$\frac{\partial p}{\partial x}=-\frac{\rho}{S}\frac{\partial q}{\partial t}$$

$$\frac{\partial p}{\partial t}=-\frac{\rho c^2}{S}\frac{\partial q}{\partial x}$$

- Аналогија:

p ~ U = Притисок - Напон

q ~ I = Проток - Струја

$\rho/S \sim L'$

$S/\rho c^2 \sim C'$

$$Z_{ac}=\sqrt{\frac{\rho/S}{S/(\rho c^2)}}=\frac{\rho c}{S}$$

- Z_{ac} - Карактеристична акустичка импеданса на звуководот. Таа зависи и од карактеристиката на звуководот(S). Аналогијата е подобра.
- Z_a - акустичка импеданса:

$$\underline{Z}_a=\frac{\underline{p}}{\underline{q}} \qquad \underline{Z}_a=\frac{\underline{Z}_s}{S}$$

1.11 ИМПЕДАНСА НА ЗРАЧЕЊЕ

- Изворот на звук е оптоварен со акустичка импеданса наречена импеданса на зрачење.
- Импедансата на зрачење не ја троши акустичката енергија и не ја претворува во топлина како кај електрично коло.
- Импедансата на зрачење ја презема акустичката енергија и ја предава на далечина.
- Извор на звук: топка со радиус r_0 која пулсира и создава сферни бранови.

$$Z_{az}=\frac{1}{4\pi r_o^2}\left(\frac{\rho c k^2 r_0^2}{1+k^2r_0^2}+j\frac{\rho c k r_0}{1+k^2r_0^2}\right)$$

- Моќноста на зрачење е:

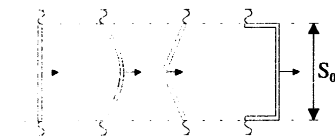
$$P_a=q_0^2R_{az}=q_0^2\frac{\rho c k^2}{4\pi(1+k^2r_0^2)}$$

- За kr_0<<1, (r_0<<λ):

$$P_a=q_o^2\frac{\rho c k^2}{4\pi} \qquad (1)$$

- P_a не зависи од димензиите на изворот, односно не зависи од обликот на површината на изворот.
- За kr_0>>1:

$$P_a=q_o^2\frac{\rho c}{4\pi r_o^2}=q_o^2\frac{\rho c}{S_o} \qquad (2)$$



- S_0 - ефективна површина на изворот.
- Равенката (1) важи за ниски фреквенции,
- Равенката (2) важи за високи фреквенции,

1.12 ТОЧКАСТ ИЗВОР НА ЗВУК

- На ниски фреквенции (kr_0<<1), (r_0 << λ), отпорноста на зрачење е:

$$R_{az}=\frac{\rho c k^2}{4\pi}$$

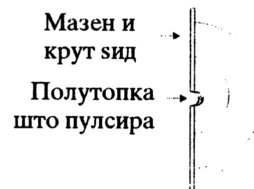
- Моќноста на зрачење зависи од протокот q што го создава изворот и не зависи од обликот на изворот.
- Тоа е точкаст извор на звук.
- Многу реални извори се точкасти извори за ниски фреквенции: како човекот, звучниците и музичките инструменти.
- Интензитетот на звук за точкаст извор е:

$$J_r=\frac{P_a}{4\pi r^2}=\frac{p^2}{\rho c}$$

$$p=\frac{1}{r}\sqrt{\frac{P_a\rho c}{4\pi}}$$

$$P_a=q_0^2\frac{\rho c k^2}{4\pi}=\frac{\omega^2S_0^2v_0^2\rho}{4\pi c}=\frac{\omega^4S_0^2\xi_0^2\rho}{4\pi c}$$

1.13 ПРОСТОРЕН АГОЛ НА ЗРАЧЕЊЕ



$$Z_{az}=\frac{1}{2\pi r_0^2}Z_{SZ}=\frac{\rho c k^2}{2\pi}+j\frac{\rho c k}{2\pi r_0}$$

$$R_{az}=\frac{\rho c k^2}{\Omega_Z}$$

Ω_z – просторен агол на зрачење.

$$P_a=q_0^2\frac{\rho c k^2}{\Omega_Z}$$

$$\frac{P_{a2}}{P_{a1}}=\frac{\Omega_{Z1}}{\Omega_{Z2}}=\frac{4\pi}{2\pi}=2$$

$$J_r=\frac{P_a}{\Omega_z r^2}$$

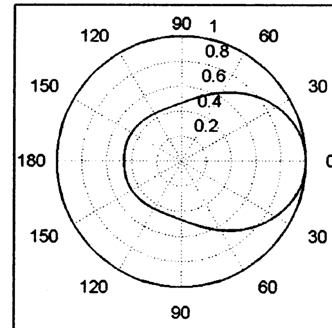
$J_{r2}/J_{r1}=4$

- Со намалување на аголот на зрачење се постигнува поголема моќност: рака покрај уста, конусна инка за довикување,
- Полутопката создава акустички бранови на двете страни од ѕидот со иста моќност но со спротивна фаза. Ова е акустички дипол.

1.14 ИЗВОРИ НА ЗВУК СО НАСОЧЕНО ЗРАЧЕЊЕ

- Во близина на изворот, блиско поле, промената на притисокот е различен за различни насоки.
- Тоа се прикажува со карактеристиката на насоченост. Таа се прикажува во поларни координати према изразот:

$$\Gamma(\vartheta)=\frac{p_\vartheta}{p_0}$$



- Графикот се нарекува и дијаграм на зрачење.

$$P_a=\oint_S J_\vartheta dS=J_0\oint_S\frac{J_\vartheta}{J_0}dS=J_0\oint_S\Gamma^2 dS$$

$$P_a=r^2J_0\int_0^{4\pi}\Gamma^2 d\Omega$$

$$\Omega_z=\int_0^{4\pi}\Gamma^2 d\Omega$$

- Ω_z - ефективен просторен агол на зрачење

$J_0=\frac{P_a}{\Omega_z r^2}$ $\qquad$ $\gamma=\frac{4\pi}{\Omega_z}$

- γ - фактор на насоченост, директивност.

$J_0=\gamma\frac{P_a}{4\pi r^2}$ $\qquad$ $J_\vartheta=\gamma\frac{P_a}{4\pi r^2}\Gamma^2$

1.15 ЗРАЧЕЊЕ НА ГРУПА НА ИЗВОРИ

- Топчест извор со радиус r_0.

$$\underline{p_0}=\frac{\underline{A}}{r_0}e^{j(\omega t-kr_0)}$$

$$\underline{q_0}=\frac{\underline{p_0}}{\underline{Z_{az}}}$$

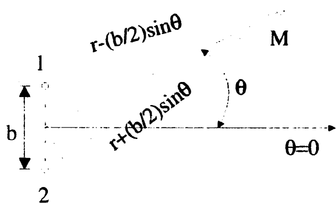
За $kr_0<<1$ $\qquad$ $\underline{Z_{az}}=j\frac{\rho ck}{4\pi r_0}$

$$\underline{q_0}=\frac{\underline{p_0}}{j\frac{\rho ck}{4\pi r_0}}=\frac{4\pi A}{j\rho ck}e^{j(\omega t-kr_0)}$$

$$\underline{A}=\frac{j\omega\rho\underline{q_0}}{4\pi}$$

$$\underline{p}=j\frac{\omega\rho\underline{q_0}}{4\pi r}e^{j(\omega t-kr)}$$

$$\underline{p}=j\frac{\omega\rho}{4\pi}\underline{q_0}\frac{e^{-jkr}}{r}$$

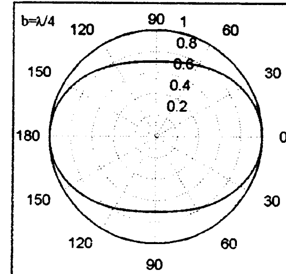


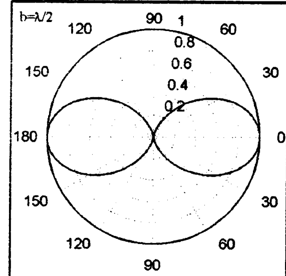
$$\underline{p_1}=j\frac{\omega\rho}{4\pi r}\underline{q_0}e^{-j(kr-\frac{kb}{2}\sin\vartheta)}$$

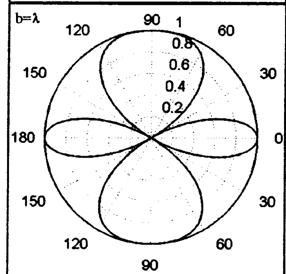
$$\underline{p_2}=j\frac{\omega\rho}{4\pi r}\underline{q_0}e^{-j(kr+\frac{kb}{2}\sin\vartheta)}$$

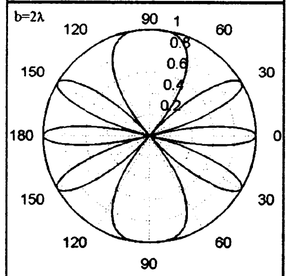
$$\underline{p}=\underline{p_1}+\underline{p_2}=j2\frac{\omega\rho}{4\pi r}\underline{q_0}e^{-jkr}[\cos(\frac{\pi b}{\lambda}\sin\vartheta)]$$

$\Gamma(\vartheta)=\cos(\frac{\pi b}{\lambda}\sin\vartheta)$ -фактор на насока.





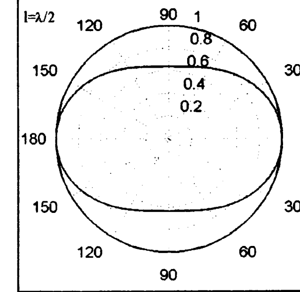


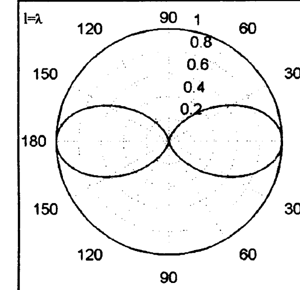


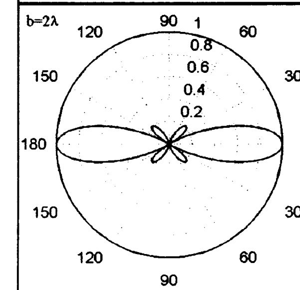
- Група од n точкасти извори:

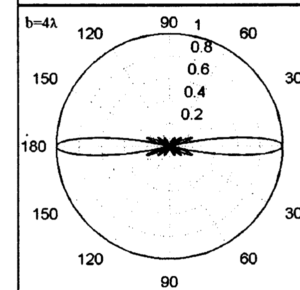
$$p=n\frac{\omega\rho q_0}{4\pi r}\left[\frac{\sin\left(\frac{n\pi b}{\lambda}\sin\vartheta\right)}{n\sin\left(\frac{\pi b}{\lambda}\sin\vartheta\right)}\right]$$

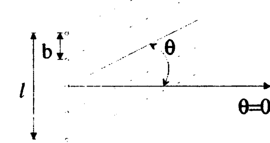
- Линиски извор: n→∞, b→0, nb=l,





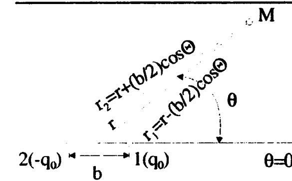






$$p=p_0\left[\frac{\sin\left(\frac{\pi l}{\lambda}\sin\vartheta\right)}{\frac{\pi l}{\lambda}\sin\vartheta}\right]$$

1.16 АКУСТИЧКИ ДИПОЛ



$$\underline{p}=j\frac{\omega\rho}{4\pi}\underline{q_0}e^{-jkr}\left(\frac{e^{j\frac{kb}{2}\cos\vartheta}}{r_1}-\frac{e^{-j\frac{kb}{2}\cos\vartheta}}{r_2}\right)$$

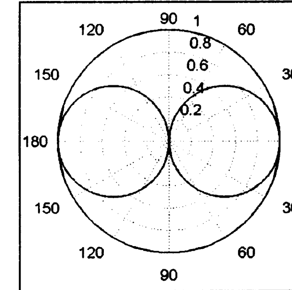
$\cos\left(\frac{kb}{2}\cos\vartheta\right)\cong 1$, $\sin\left(\frac{kb}{2}\cos\vartheta\right)\cong\frac{kb}{2}\cos\vartheta$,

$r_1+r_2=2r$; $\qquad$ $r_1r_2\cong r^2$; $r_1-r_2=b\cos\vartheta$;

$$\frac{\underline{p}}{\underline{p_t}}=\frac{b}{r}(1+jkr)\cos\vartheta$$

- p_t - притисокот што го создава точкаст извор.

$\Gamma=\cos\vartheta$



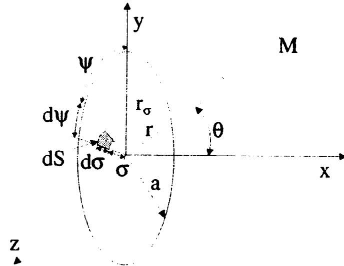
- Притисок во далечно поле: $kr>>1$

$p_0=jp_tkb$ $\qquad$ $\left|\frac{p_0}{p_t}\right|=kb=\frac{\omega b}{c}<<1$

- акустичка куса врска.

1.17 КЛИПНА МЕМБРАНА

- Кружна плоча, рамна и идеално крута, вградена во голема, крута и мазна плоча, (во полупростор).
- Мембраната на звучникот има приближно таков облик.
- Тоа е група на многу точкасти извори што ја формираат површината на мембраната.



$$dS = \sigma d\psi d\sigma$$

$$d\underline{q}_0 = \underline{v}_0 dS$$

$$d\underline{p} = j\frac{\omega\rho}{2\pi}\underline{v}_0\frac{e^{-jkr_\sigma}}{r_\sigma}dS$$

$$r_\sigma = \sqrt{r^2+\sigma^2-2r\sigma\sin\vartheta\cos\psi}$$

$$r_\sigma \cong r-\sigma\sin\vartheta\cos\psi$$

$$d\underline{p} = j\frac{\omega\rho}{2\pi r}\underline{v}_0 e^{-jkr}e^{jk\sigma\sin\vartheta\cos\psi}dS$$

$$\underline{p} = j\frac{\omega\rho}{2\pi r}\underline{v}_0 e^{-jkr}\int_0^a \sigma d\sigma\int_0^{2\pi} e^{jk\sigma\sin\vartheta\cos\psi}d\psi$$

$$q_0 = a^2\pi v_0$$

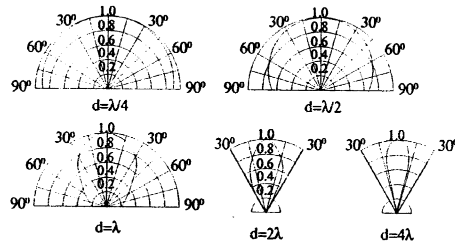
$$p = j\frac{\omega\rho}{2\pi r}q_0 e^{-jkr}\left[\frac{2J_1(ka\sin\vartheta)}{ka\sin\vartheta}\right]$$

- J_1 е Беселова функција од прв вид.

$$J_1(w) = \frac{w}{2}-\frac{w^3}{2^2 4}+\frac{w^5}{2^2 4^2 6}-\frac{w7}{2^2 4^2 6^2 8}+\dots$$

$$\Gamma(\vartheta) = \left[\frac{2J_1(ka\sin\vartheta)}{ka\sin\vartheta}\right]$$

- $\Gamma(\vartheta)$ – Фактор на насока.

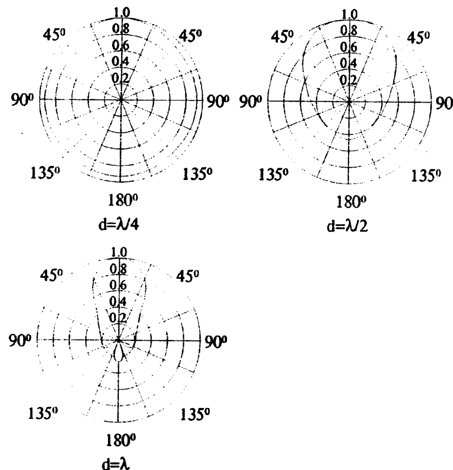


Фактор на насоченост:

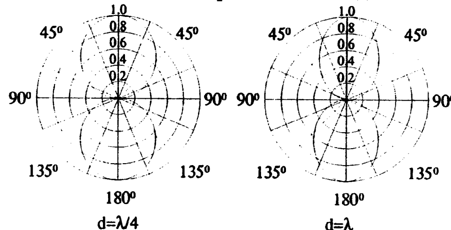
$$\gamma = \frac{4\pi}{\int_0^{\pi/2}\Gamma^2 2\pi\sin\vartheta d\vartheta} = \frac{k^2a^2}{1-\frac{2J_1(2ka)}{2ka}}$$

- За $ka<<1$, (ниски фреквенции), $\gamma=2$,
- За $ka>>1$, (високи фреквенции), $\gamma=k^2a^2$;

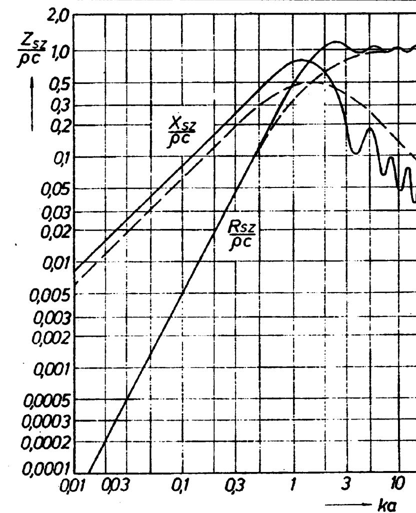
- Клипна мембрана вградена на крајот од долга цевка со ист радиус:



- Клипната мембрана е слободна:



1.17.2 Импеданса на зрачење



- За клипна мембрана со радиус a и полутопка со радиус $r_0=0.707a$. Изворите имаат иста површина S_0.

$$Z_{az} = \frac{\rho c}{a^2\pi}\left[R_1(2ka)+jX_1(2ka)\right]$$

$$R_1(w) = 1-\frac{2J_1(w)}{w} = \frac{w^2}{2.4}-\frac{w^4}{2.4^2 6}+\frac{w^6}{2.4^2 6^2 8}-\dots$$

$$X_1(w) = \frac{2K_1(w)}{w^2} = \frac{4}{\pi}\left(\frac{w}{3}-\frac{w^3}{3^2 5}+\frac{w^5}{3^2 5^2 7}-\dots\right)$$

За $w<<1$: $R_1 \cong \frac{w^2}{8}$, $X_1 = \frac{4w}{3\pi}$,

- За $w>>1$: $R_1=1$, $X_1 = 4/\pi w$;
- За ниско фреквенции ($ka<1$), изворот делува како точкаст извор.

$$R_{az} = \frac{\rho c k^2}{2\pi} = \frac{\rho c}{S_0}k^2 r_0^2 = \frac{\rho c}{S_0}\frac{k^2a^2}{2}$$

- За високи фреквенции ($ka>5$):

$$R_{az} = \frac{\rho c}{S_0}$$

- Отпорноста на зрачење е иста кај клипна мембрана и полутопка вградени во бесконечна плоча за ниски и високи фреквенции.
- Мала разлика има на средни фреквенции ($1<ka<5$), која не е значајна.
- Ова важи за сите видови на извори.

- Ако клипната мембрана е вградена на крајот од една цевка се изедначуваат површините:

$S_0 = a^2\pi = 4\pi r_0^2$, зрачи во цел простор.

- За ниски фреквенции ($ka<1$):

$$R_{az} = \frac{\rho c k^2}{4\pi} = \frac{\rho c}{S_0}k^2 r_0^2 = \frac{\rho c}{S_0}\frac{k^2a^2}{4}$$

- За високи фреквенции ($ka>5$):

$$R_{az} = \frac{\rho c}{S_0}$$

- Реактивната компонента на клипната мембрана се однесува како и кај точкаст извор на звук.
- За полутопка при ($kr_0<1$):

$$X_{az} = \frac{\rho c k}{2\pi r_0} = \omega\frac{\rho}{S_0}r_0$$

- Реактивната компонента зависи од димензиите на изворот.
- За клипна мембрана со иста површина на полутопката:

$S_0 = a^2\pi = 2\pi r^2$

$$X_{az} = \omega\frac{\rho}{S_0}\frac{a}{\sqrt{2}}$$

- Кога клипната мембрана е вградена на крајот од една цевка, при иста површина со топка: $S_0 = a^2\pi = 4\pi r_0^2$

$$X_{az} = \omega\frac{\rho}{S_0}\frac{a}{2}$$

- Точните резултати за реактансата на клипна мембрана се:

$X_{az} = \omega\frac{\rho}{S_0}0.85a$ За агол на зрачење 2π;

$X_{az} = \omega\frac{\rho}{S_0}0.61a$ За агол на зрачење 4π;

- За слободна клипна мембрана:

$$X_{az} = \omega\frac{\rho}{S_0}0.85a$$

1.18 ЗАЕДНИЧКО ДЕЛУВАЊЕ НА НЕЗАВИСНИ ИЗВОРИ

- Повеќе извори на звук на поголемо растојание меѓу себе.
- Притисокот во една точка е сума од поединечните притисоци со соодветен фазен став.
- Се бара просечниот притисок во еден сектор. Значи фазната разлика не треба да се јави во изразот за притисок.
- Тогаш се бара густината на звучната енергија што ја создаваат сите извори.

$$E = E_1 + E_2 = \frac{p_1^2}{\rho c^2} + \frac{p_2^2}{\rho c^2} = \frac{p^2}{\rho c^2}$$

$$p = \sqrt{p_1^2 + p_2^2}$$

- Ова поготово важи за два сигнали со различни фреквенции кои во секоја наредна периода имаат различна фазна разлика.

$$J = \sum_{i=1}^{n} J_i$$

- Погрешно е да се толкува дека вкупниот интензитет на звук е енергија која во единица време минува низ единица површина.
- Последниов израз е формална замена за $J=p^2/\rho c$.

1.19 РЕФЛЕКСИЈА НА ЗВУК ПРИ НОРМАЛНА ИНЦИДЕНЦИЈА

- Бранот има прогресивна и рефлектирана компонента:

$$p = p_+ e^{j(\omega t - kx)} + p_- e^{j(\omega t + kx)}$$

$$v = j\frac{1}{\rho\omega}\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{p_+}{\rho c} e^{j(\omega t - kx)} - \frac{p_-}{\rho c} e^{j(\omega t + kx)}$$

- Рамниот бран се простира низ цевка на чиј крај е ѕид со Z_s = специфична акустична импеданса.
- Точката x=0 е на крај од цевката.

$$\left(\frac{p}{v}\right)_{x=0} = \rho c \frac{p_+ + p_-}{p_+ - p_-} = Z_s$$

- r - фактор на рефлексија, однос на рефлектиран и прогресивен бран.

$$r = \frac{p_-}{p_+} = \frac{Z_s - \rho c}{Z_s + \rho c} = \beta e^{j\varphi}$$

- За $Z_s=\rho c$, $r=0$, нема рефлексија.
- За $Z_s=\infty$, $r=1$; $Z_s=0$, $r=-1$,
- Ова е тотална рефлексија.

$$\frac{p_-}{p_+} = \frac{\rho_2 c_2 - \rho_1 c_1}{\rho_2 c_2 + \rho_1 c_1}$$

$$r = \frac{p_-}{p_+} = \frac{Z_a - \rho c / S}{Z_a + \rho c / S}$$

$$r = \frac{p_-}{p_+} = \frac{S_1 - S_2}{S_1 + S_2}$$

- Тотална рефлексија: од воздух кон тврд материјал ($r=1$); од тврд материјал кон воздух ($r=-1$);
- Тотална рефлексија: Не може од воздух кон вакуум. (Како граница).

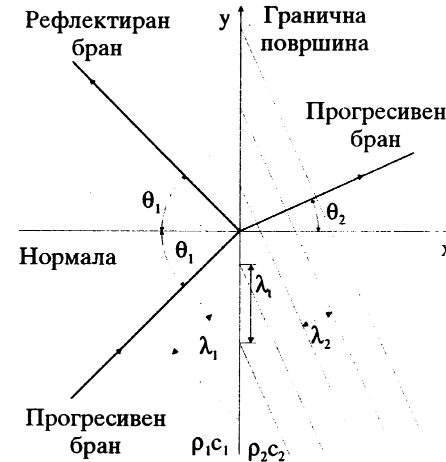
- Отворен вод во акустика одговара на краткоспоен вод во електротехника и
- Затворен вод во акустика одговара на отворен вод во електротехника.
- Отворена цевка на високи фреквенции е прилагоден вод.

1.20 РЕФЛЕКСИЈА НА ЗВУК ПРИ КОСА ИНЦИДЕНЦИЈА

- Се користат законите на оптика. По законот на Снел:

$$\frac{c_1}{c_2} = \frac{\sin\vartheta_1}{\sin\vartheta_2}$$

- Во просторот постојат три брана.
- На граничната површина притисокот како скаларна величина е ист во двете средини.



$$\underline{p}_{1+} = \hat{\underline{p}}_{1+} e^{j(\omega t - k_1 x\cos\vartheta_1 - k_1 y \sin\vartheta_1)}$$

$$\underline{p}_{1-} = \hat{\underline{p}}_{1-} e^{j(\omega t + k_1 x\cos\vartheta_1 - k_1 y \sin\vartheta_1)}$$

$$\underline{p}_{2} = \hat{\underline{p}}_{2+} e^{j(\omega t - k_2 x\cos\vartheta_2 - k_2 y \sin\vartheta_2)}$$

$$p_1 = p_{1+} + p_{1-}$$

- На границата $x=0$:

$$\hat{\underline{p}}_{1+} e^{-jk_1 y \sin\vartheta_1} + \hat{\underline{p}}_{1-} e^{-jk_1 y \sin\vartheta_1} = \hat{\underline{p}}_{2+} e^{-jk_2 y \sin\vartheta_2}$$

$k_1 = \omega/c_1$, $k_2 = \omega/c_2$, + Снелов закон =>

$$\hat{\underline{p}}_{1+} + \hat{\underline{p}}_{1-} = \hat{\underline{p}}_{2+}$$

- Брзината на молекулите на границата, по x-оска, е еднаква од двете страни. Инаку материјата ќе се раздвои.

$$\frac{\hat{\underline{p}}_{1+}}{\rho_1 c_1}\cos\vartheta_1 - \frac{\hat{\underline{p}}_{1-}}{\rho_1 c_1}\cos\vartheta_1 = \frac{\hat{\underline{p}}_{2+}}{\rho_2 c_2}\cos\vartheta_2$$

$$r = \frac{\hat{\underline{p}}_{1-}}{\hat{\underline{p}}_{1+}} = \frac{\rho_2 c_2 \cos\vartheta_1 - \rho_1 c_1 \cos\vartheta_2}{\rho_2 c_2 \cos\vartheta_1 + \rho_1 c_1 \cos\vartheta_2}$$

- Тотална рефлексија: за сите агли на ϑ_1 поголеми од вредноста за која е $\vartheta_2 = \pi/2$.

$\sin\vartheta_1 > c_1/c_2$ $(c_2 > c_1)$,

1.21 СТОЕН БРАН

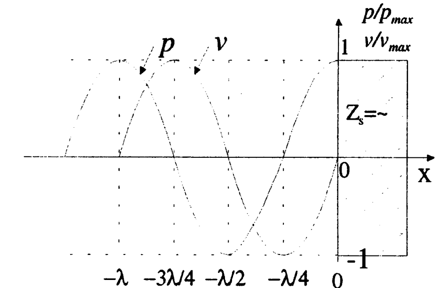
- За рамен бран во звуководот важи:

$$\underline{p} = \hat{\underline{p}}_+ \left[e^{j(\omega t - kx)} + \beta e^{j(\omega t + kx + \delta)}\right]$$

- При тотална рефлексија, $Z_s=\infty$:

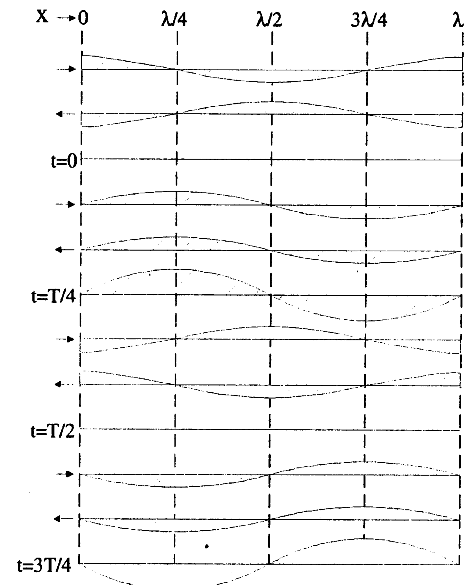
$$\underline{p} = \hat{\underline{p}}_+ \left[e^{j(\omega t - kx)} + e^{j(\omega t + kx)}\right] = 2\hat{\underline{p}}_+ \cos kx \cdot e^{j\omega t}$$

- Модулот на притисокот зависи од координатата x, но фазата не зависи од координатата x. Затоа нема простирање на бранот и тој се вика стоен бран.

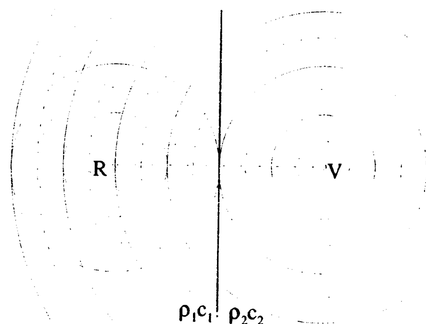


$$\underline{v} = 2\frac{\hat{\underline{p}}_+}{\rho c}\sin kx \cdot e^{j(\omega t - \pi/2)}$$

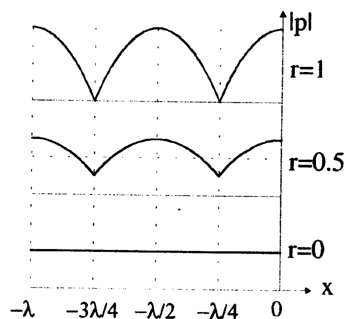
- Настанување на стоен бран:



- Тотална рефлексија има и за $Z_s=0$, сега максимумот и нулата за p и v се на друго место.
- Ако во една средина делуваат два извора еден кон друг со иста фреквенција и фаза, на средина меѓу нив ќе се појави стоен бран.
- Работата на еден извор поставен до еден ѕид се решава со виртуелен извор кој е како слика во огледало на самиот извор со метода на собирање.

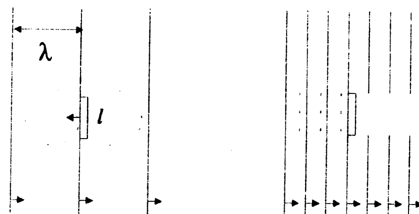


- Делумна рефлексија и прилагодување



1.22 ДИФРАКЦИЈА

- Ако во звучното поле има препрека со конечни димензии, се јавува промена на насоката на простирање на звукот околу пречката.
- На ниски фрекв. односно ако е $l<\lambda$, нема промена на звучното поле.
- На високи фреквенција, $l>\lambda$, се јавува рефлексија. Зад пречката има сенка, т.е. полето е минимално.



1.23 СЛАБЕЕЊЕ НА ЗВУК

- При простирањето на звукот во воздух има загуба на енергијата.
- Вискозни загуби: Поради триење на молекулите на воздухот што се движат со различни брзини. Тие растат со фреквенцијата. Големи се кај тесни цевки.
- Топлински загуби: Појавата е делумно изотермна. Растат со f.
- Молекуларни загуби: Тие се најголеми. При стискање на молекулите, акустичката енергија поминува во внатрешна енергија на молекулата на кислородот. При разредување, таа се враќа. Тука има хистерезис, односно се јавува загуба на акустичката енергија. Загубата расте со влажноста на воздухот.
- За рамен бран:

$$J = J_0 e^{-mx}$$

m енергетски коефициент на слабеење.

- За сферен бран:

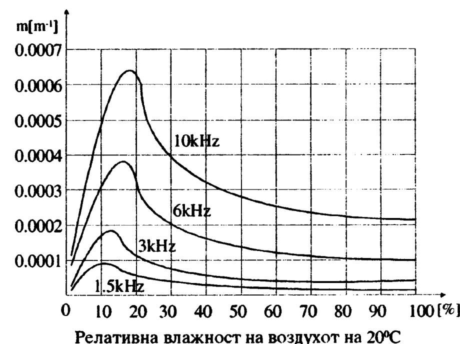
$$J = J_0 \frac{r_0^2}{r^2} e^{-m(r-r_0)}$$

$$p = p_0 \frac{r_0}{r} e^{-m(r-r_0)/2}$$

$$20\log\frac{p_0}{p}[dB] = 20\log\frac{r}{r_0} + 4.34m(r-r_0)$$

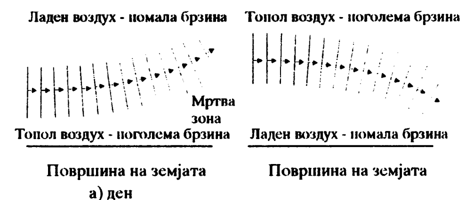
- 4.34m е слабеење во dB по единица должина. Ова е значајно на растојание поголемо од 100m и на фреквенција поголема од 1000Hz.

Енергетски коефициент на слабеење:

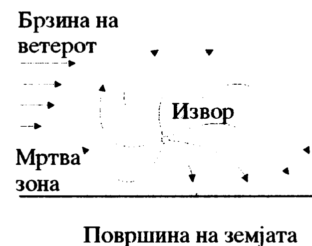


1.24РЕФРАКЦИЈА

- Рефракција е промена на насоката на простирање на звучните бранови поради нивна различна брзина во поедини слоеви на воздухот.
- Рефракција поради различна температура на поедини слоеви на воздухот:



- Рефракција од ветер:



- Рефракција кога бранот се движи паралелно со површина што силно апсорбира звук: снег, голема трева или публика.

1.25 ДОПЛЕРОВ ЕФЕКТ

- Промена на фреквенцијата на звукот што се прима ако се движи изворот или приемникот.

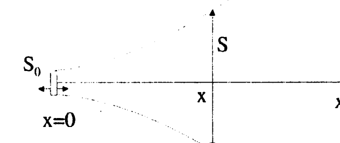
$\lambda f = c$

- Звукот се движи со иста брзина низ воздухот. Се менува λ и f на звукот поради движењето.

$$f_p = f_i\left(1 - \frac{v_p}{c} + \frac{v_i}{c}\right)$$

- i - извор, p - приемник.

1.26 ЗВУКОВОД СО ПРОМЕНЛИВ ПРЕСЕК



- Ако λ е поголема од димензиите на звуководот и ако пресекот се менува постепено, се јавува сферен бран кој зависи од координатата x.
- Експоненцијален звуковод или експоненцијална инка:

$S=S_0\, e^{gx}$

$$\underline{p} = \underline{\hat{p}}_0 \cdot e^{-\frac{g}{2} + j(\omega t - k_1 x)}$$

$$k_1 = k\sqrt{1-(g/2k)^2}$$

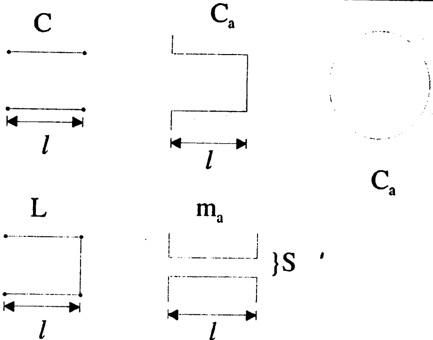
- Притисокот опаѓа експоненцијално и бранот се движи со променета брзина.

$$Z_{sc} = \rho c\left[\sqrt{1-(g/2k)^2} + j(g/2k)\right]$$

- Z_{sc} не зависи од x.
- Z_{ac} зависи од S односно од x.
- Овој звуковод има улога на трансформатор за прилагодување на различните акустички импеданси.

2. ЕЛЕКТРОАКУСТИЧКА И ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧКА АНАЛОГИЈА

2.1 ЕЛЕМЕНТИ НА АКУСТИЧКИТЕ СИСТЕМИ



- На отворен вод во акустика одговара затворен вод во електротехника и обратно.

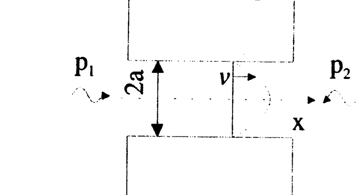
$C=C'l$

$$C_a = C_a' l = \frac{Sl}{\rho c^2} = \frac{V}{\rho c^2}$$

$L=L'l$

$$m_a = \frac{\rho l}{S}$$

- C_a - акустичка капацитивност или акустичка еластичност.
- m_a - акустичка индуктивност или акустичка маса.
- R_a - акустичка отпорност.

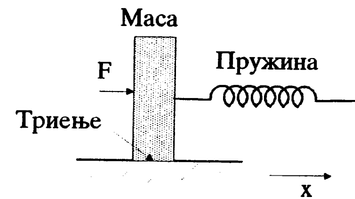


$$R_a = \frac{p_1 - p_2}{q} = \frac{8\mu l}{a^4 \pi}$$

- важи за $(a[mm] < 2/\sqrt{f})$
- μ - коефициент на вискозност, за воздух изнесува $1{,}86.10^{-5}$[Kg/ms].
- Отпорноста се јавува кај цевки со $a<1mm$.

2.2 ЕЛЕМЕНТИ НА МЕХАНИЧКИ СИСТЕМ

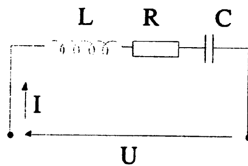
- Маса, еластичност и триење.



$$m\frac{d^2x}{dt^2} + r\frac{dx}{dt} + kx = F$$

$$m\frac{dv}{dt} + rv + k\int vdt = F$$

- r - Коефициент на триење.
- k - коефициент на крутост на пружината.



$$L\frac{dI}{dt} + RI + \frac{1}{C}\int Idt = U$$

- Аналогија:

$U \sim F$ Напон - Сила

$I \sim v$ Струја - Брзина

$L \sim m$ Индуктивност - маса

$C \sim 1/k$ Капацитивност-1/к.крутост

$R - r$ Отпорност - к.триење

- 1/k - коефициент на еластичност.
- R_m=r - механичка отпорност.
- Z_m - механичка импеданса:

$$\underline{Z}_m = \frac{\underline{F}}{\underline{v}}$$

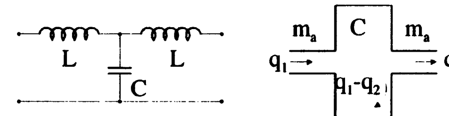
$$\underline{v} = \frac{\underline{F}}{R_m + j(\omega m - \frac{1}{\omega C})}$$

2.4 ЗНАЧЕЊЕ НА АНАЛОГИЈАТА

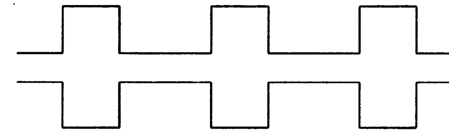
- Аналогијата е формална врз основа на сличност на равенките кај електричниот, механичкиот и акустичкиот систем.
- Теоријата на електричните појави е најмногу развиена и тоа е предност на електроинженерот.

2.5 ПРИМЕРИ НА АНАЛОГИЈА

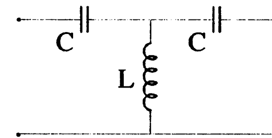
- Електричен и акустички НПФ



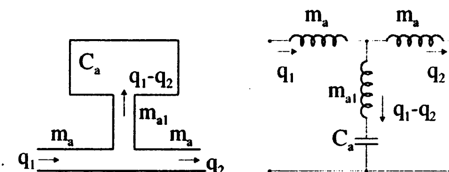
- Повеќестепен НПФ = ауспух.



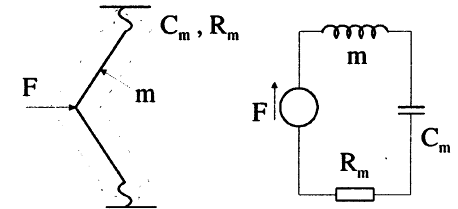
- Електричен ВПФ
- Акустички ВПФ не може да се реализира, Нема сериска врска меѓу два акустички капацитивности.



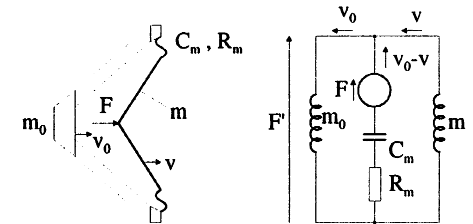
- Филтер - појасна брана



- Еквивалентна шема на подвижна мембрана



- Еквивалентна шема на мембрана со корпа



2.7 СПРЕГА НА АКУСТИЧКИ И МЕХАНИЧКИ СИСТЕМ

- Клипна мембрана во цевка создава рамни бранови. Мембраната има пресек S, се движи под влијание на силата F со брзина v и создава проток q.
- Мембраната е механичка импеданса Z_m и создава притисок p во цевката.

$$F = Sp\,,\ v = \frac{q}{S}\,,$$

$$Z_m = \frac{F}{v} = \frac{Sp}{\frac{q}{S}} = S^2\frac{p}{q} = S^2 Z_a$$

- Ова одговара на идеален трансформатор во електротехника:

$$U_1 = nU_1\,,\quad I_1 = \frac{I_2}{n}\,,\quad Z_1 = n^2 Z_2$$

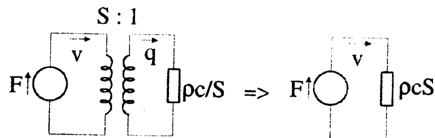
- n преносен однос на трансформаторот, 1-примар, 2-секундар

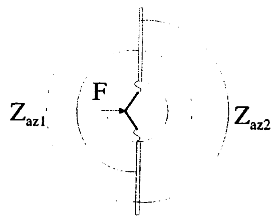
- Пресликувањето на акустичките величини во механички и обратно, се прави со трансформатор со преносен однос:

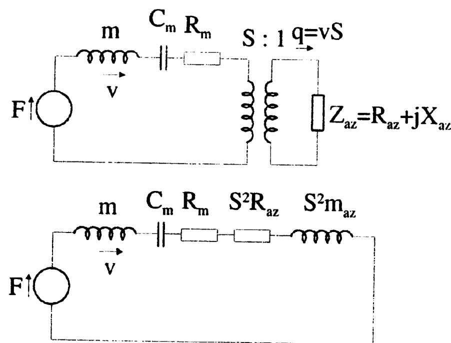
$$S = \frac{q}{v}$$

- S е ефективна површина на мембраната.

$$\underline{Z}_m = S^2 \underline{Z}_a = S \underline{Z}_s$$

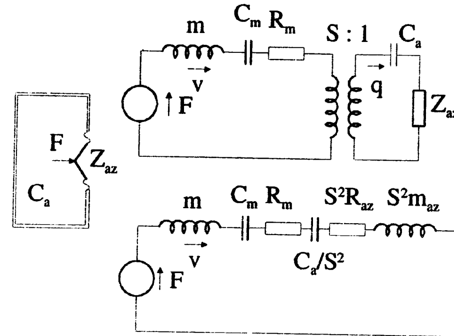




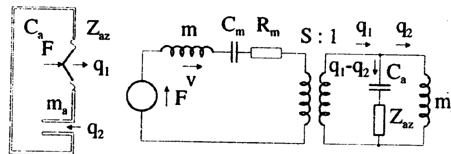


$$\underline{Z}_{az} = 2\left(\frac{\rho c k^2}{2\pi} + j\omega\frac{0.85\rho}{a\pi}\right) \qquad (2\pi),\ (x2),$$

$$Z_{mz} = a^4 \pi \rho c k^2 + j\omega\rho a^2 \pi\, 2\; 0.85a$$



$$\underline{Z}_{az} = \frac{\rho c k^2}{4\pi} + j\omega\frac{0.61\rho}{a\pi} \qquad (4\pi),$$



3. ЗВУЧНИ БРАНОВИ ВО ЗАТВОРЕН ПРОСТОР

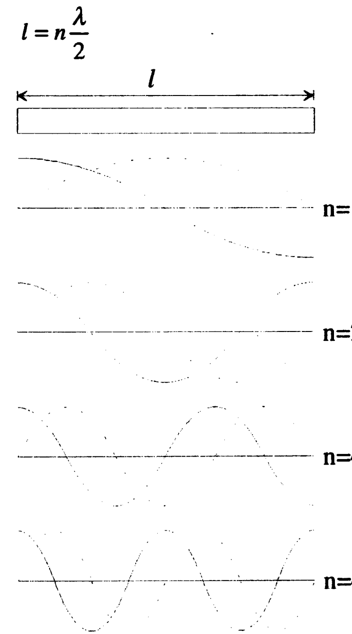
3.1 СОПСТВЕНИ ФРЕКВЕНЦИИ ВО ОГРАНИЧЕН ПРОСТОР

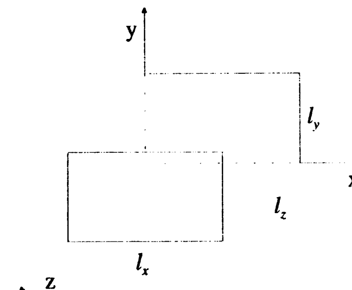
- просторот е затворен и доаѓа до неколкукратно одбивање на бранот, дел од акустичката енергија се губи про рефлексијата и бранот се шири во сите насоки.
- Се јавува сложена интерференција на бранот. Равенките се сложени, но некои појави токму се објаснуваат со брановата теорија.
- Во затворена цевка се јавуваат стојни бранови ако важи:

$$l = n\frac{\lambda}{2}, \qquad f_n = \frac{nc}{2l}, \quad n=1,\ 2,\ 3,\ \ldots$$

- f_n - сопствени фреквенции на цевката. На овие фреквенции се јавува резонанса во цевката. Бранот егзистира со минимални загуби на енергијата.

$$l = n\frac{\lambda}{2}$$





- Сопствените фреквенции се решение на брановата равенка со граничните услови дека брзината на бранот на ѕидовите е нула:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = c^2 \nabla^2 p$$

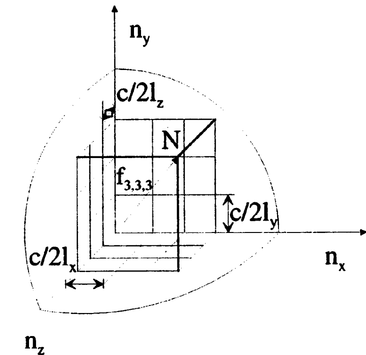
- За $x=0$ и $x=l_x$ $v_x=0$;
- За $y=0$ и $y=l_y$ $v_y=0$;
- За $z=0$ и $z=l_z$ $v_z=0$;

$$f_N = \frac{c}{2}\sqrt{\left(\frac{n_x}{l_x}\right)^2 + \left(\frac{n_y}{l_y}\right)^2 + \left(\frac{n_z}{l_z}\right)^2}$$

$n_x, n_x, n_x = \{0,\ 1,\ 2\ ,3,\ ..\}$

- Аксијални или рабни бранови: $f_{n,0,0}$, $f_{0,n,0}$ и $f_{0,0,n}$.
- Површински бранови: $f_{n,m,0}$
- Просторни бранови.

- Фреквенциски простор за одредување на сопствените фреквенции на просторијата:



- Секоја сопствена фреквенција на просторот е одредена со векторот до секоја точка од темињата на паралелопипедите .
- Бројот на елементарните паралелопипеди во октантот со радиус f, е бројот на сопствени фреквенции N до таа фреквенција.

$$N = \frac{V_{oktant}}{V_{paralelopiped}} = \frac{\frac{1}{8}\frac{4\pi f^3}{3}}{\frac{c^3}{8V}} = \frac{4\pi}{3c^3} V f^3$$

- Број на сопствени фреквенции во опсегот Δf.

$$\Delta N = \frac{4\pi V f^2}{c^3}\Delta f$$

$$\Delta N = \left(\frac{4\pi V f^2}{c^3} + \frac{\pi S f}{2c^2} + \frac{L}{8c}\right)\Delta f$$

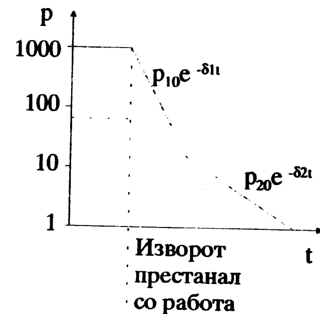
- S - површината на просторијата.
- L - Должина на сите рабови.

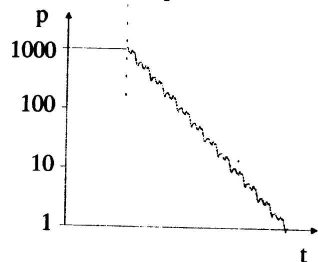
3.2 АНАЛИЗА НА ЗВУЧНО ПОЛЕ СО БРАНОВА ТЕОРИЈА

- Равенката за f_N важи ако ѕидовите се идеално крути и осцилациите се непридушени.
- Поради апсорбција од околните ѕидови, осцилациите се придушени. Со аналогија со електрични кола, следи дека сопствените фреквенции на просторијата f_N се малку поместени.
- Ако фреквенцијата на изворот се поклопува со сопствените фреквенции на просторијата f_N се јавува резонанса во просторијата, односно се јавуваат стојни бранови.
- Просторијата е добра ако има многу f_N и изворот да побуди повеќе од нив.
- Во големи простории со многу f_N, не постои изразита фреквенција на резонанса. Полето е похомогено.
- По престанок на работа на изворот, притисокот на поедините побудени сопствени фреквенции паѓа експоненцијално:

$$p_i = p_{i0} e^{-\delta_i t}$$

- δ_i - коефициент на опаѓање.





- На повисоки фреквенции побудени се повеќе сопствени фреквенции и притисокот во просторијата се одредува со статистичка теорија на звучното поле, бидејќи невозможно е да се решава брановата равенка.

3.3 Коефициент на апсорбција

- α - коефициент на апсорбција

$$\alpha = \frac{P_a}{P_u}$$

- P_α - апсорбирана енергија во единица време од страна на ѕидот.
- P_u - енергијата на прогресивниот бран што паѓа на ѕидот.
- Коефициент на рефлексија:

$$1 - \alpha = \frac{P_\rho}{P_u} = \rho$$

$$\alpha_\vartheta = 1 - \frac{J_\rho}{J_u} = 1 - \left|\frac{p_-}{p_+}\right|^2 = 1 - r^2$$

- r - фактор на рефлексија.

$$\alpha_0 = 1 - \left|\frac{Z_s - \rho c}{Z_s + \rho c}\right|^2$$

$$\alpha_\vartheta = 1 - r^2 = 1 - \left(\frac{\rho_2 c_2 \cos\vartheta_1 - \rho_1 c_1 \cos\vartheta_2}{\rho_2 c_2 \cos\vartheta_1 + \rho_1 c_1 \cos\vartheta_2}\right)^2$$

- За секој материјал се одредува среден коефициент на апсорбција кој не зависи од аголот на упаѓање.
- α - зависи од фреквенцијата.
- α се движи од 0 до 1.
- α=1 отворен прозорец.

3.4 АНАЛИЗА НА ЗВУЧНО ПОЛЕ СО СТАТИСТИЧКА ТЕОРИЈА

- Просторијата има мал α.
- Полето е дифузно и хомогено. Има неколкукратни рефлексии.
- Вкупната акустичка енергија во почетокот се зголемува. Потоа настанува стационарна состојба кога се генерира толкава енергија колку што се губи во околните ѕидови.

- По исклучување на изворот, енергијата опаѓа по експоненцијален закон слично кај електричните кола.
- Енергијата ја апсорбираат ѕидовите.

$$\Delta P_u = \frac{J}{4}\Delta S = \frac{cE}{4}\Delta S$$

$$\Delta P_\alpha = \frac{cE}{4}\alpha \Delta S$$

$$P_\alpha = \sum \Delta P_\alpha = \frac{cE}{4}\sum \alpha \Delta S = \frac{cE}{4}A$$

- A - апсорбција на просторијата.

$A = \sum \alpha_i S_i = \sum A_i$ (m)

- Среден коефициент на апсорбција на звук во просторијата:

$$\bar{\alpha} = \frac{A}{S}$$

- Порастот на вкупната енергија е разлика од генерираната и апсорбираната енергија.

$$\frac{dE}{dt} = \frac{P_a - P_\alpha}{V} = \frac{P_a}{V} - \frac{cE}{4V}A$$

$$E = \frac{4P_a}{cA}(1 - e^{-\frac{cA}{4V}t}) = E_0(1 - e^{-\frac{cA}{4V}t})$$

$$E_0 = \frac{4P_a}{cA}$$ - Стационарна вредност.

$$E = E_0 e^{-\frac{cA}{4V}t}$$ - по исклучување.

$E = J/c = p^2/\rho c^2$

$$J = J_0 e^{-\frac{cA}{4V}t} \qquad J_0 = \frac{4P_a}{A}$$

$$p = 2\sqrt{\frac{P_a \rho c}{A}} e^{-\frac{cA}{8V}t}$$

3.5 ВРЕМЕ НА РЕВЕРБЕРАЦИЈА - РАВЕНКА НА САБИН

- Време на реверберација е време потребно акустичката енергија да падне на милионити дел по исклучувањето на изворот.

$$T = \frac{24V}{cA \log e} = \frac{0.16V}{A} \quad \text{(s)}$$

$$J = J_0 e^{-13.8\frac{t}{T}}$$

- Ако се земе предвид и апсорбцијата во воздухот при движење на звукот:

$$J = J_0 e^{-13.8\frac{t}{T}} e^{-mct}$$

$$T = \frac{0.16V}{A + 4mV}$$

3.6 СРЕДНА ДОЛЖИНА НА СЛОБОДЕН ПАТ - РАВЕНКА НА АЈРИНГ

$$\bar{s} = \frac{4V}{S}$$ - Среден слободен пат.

$$\bar{\tau} = \frac{4V}{cS}$$ - средно време на простирање на звукот меѓу два судири.

- Среден коефициент на апсорбција:

$$T = \frac{0.16V}{-S\ln(1 - \bar{\alpha})}$$

- Равенката на Сабин е добра за случај кога е α<0.3.
- Равенката на Ајринг е добра и за поголеми вредности на α.
- Равенка на Милингтон со геометриска средна вредност за α.

3.7 ДИРЕКТЕН И РЕФЛЕКТИРАН ЗВУК

- J_D - директен звук
- J_R - рефлектиран звук.

$J = J_D + J_R$

$$J_D = \gamma \frac{P_a}{4\pi r^2}\Gamma^2$$

$$J_R = J_0(1 - \bar{\alpha}) = \frac{4P_a}{A}(1 - \bar{\alpha})$$

- Блиско поле и далечно поле.

4.Физиолошка и психолошка акустика

4.1 Осет за звук

Карактеристика	Уво	Око
E_{min}(W)	10^{-17}	10^{-17}
f_{max} / f_{min}	1000	2
Динамика (dB)	120	90

- Увото разликува: Јачина, висина и боја на звукот.
- Јачината на звукот зависи од нивото на притисокот.
- Висината на тонот зависи од f на звукот. За линиски спектар важен е основниот хармоник.
- Музички тон: висок и низок. Акорд: Хармоничен (мали броеви) Дисхармоничен: Големи цели броеви
- Боја на звукот: Анвелопата на линискиот спектар.
- Увото е неосетливо на фазната разлика меѓу компонентите.
- Кај шум со континуиран спектар нема висина на тонот, но има боја на звукот (анвелопата).
- Основни елементи на Музиката:
- Мелодија: промена на висината на тонот.
- Динамика: Промена на јачината на звукот.
- Ритам: Сукцесивно нагласување.
- Особини на звукот поврзани со неговото движење: Насока од која доаѓа звукот. Реверберација и ехо.

4.2 Орган на слухот - уво

- 3 дела: надворешно, средно и внатрешно уво.
- Ушна школка и слушен канал ($0.4cm^2$ x 2.5cm), завршен со коса мембрана ($0.8cm^2$). Има добро прилагодување на 1kHz.
- Претворање на акустичките во механички осцилации.
- Средно уво: Коски: чекан, наковална и узенгија.
- Механичка врска меѓу мембраната и внатрешното уво. Трансформатор:(p↑, v↓).
- Заштита од прејак звук. Исто и Евстахиевата цевка.
- Внатрешно уво: Кохлеа-полжавесто тело. Долго 32mm, свиткано 2.5 пати.



- За различни фреквенции поместувањето на базиларната мембрана е најголемо на различни растојанија од нејзиниот почеток.
- На Кортиевиот орган има 2350 клетки со влакненца на кои завршуваат нервните влакна како врска до мозокот.
- Влакненцата се свиткуваат и генерираат електрични импулси. f_{max}= 500Hz.
- Врската меѓу звукот и импулсите е сложена функција која ја декодира мозокот создавајќи слика за звукот.
- Двете уши физиолошки се независни.

4.3 Висина на тонот

- Висината на тонот е одредена со фреквенцијата на звукот односно со основниот хармоник кај сложен звук.
- Ако звукот нема основен хармоник, сепак увото точно ја одредува висината на тонот.
- Увото слуша логаритамски:

  Висина на тонот ~ log f

- Октава = 2:1. Од 20Hz до 20kHz има 10 октави. 16 31.5 63 125 500 1к 2к 4к 8к 16к.

- 1 Октава = 12 полутонови, кај музичката скала. $(2)^{1/12}$ = 1,06. 6% е разлика на два соседни полутонови.
- Увото разликува уште помала промена на висината на тонот.
- До 500Хз разликува 3Hz додека над 500Hz df/f = 0.3%.
- Увото разликува 850 различни висина на тонот во целиот дијапазон на фреквенции. Има толку места на базиларната мембрана со максимален одзив. Тие се поместени 37μm.
- Мелодиска скала: интервали кои мелодиски изгледаат еднакво. Единица "мел".

0 5 10 15 20 25 30 32cm

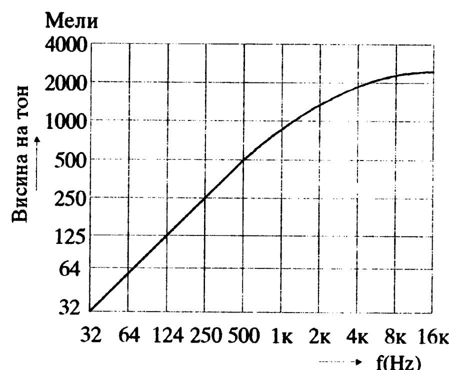
0 0.25 0.5 1 2 4 8 16kHz

0 200 400 600 800

0 400 800 1200 1600 2000 2400Мели

Висина на тон

- Врска меѓу мел и херц:



- Работна група: Дел од базиларната мембрана која опфаќа 100 Мели. Со нив звукот се анализира во целина.

4.4 Чујно подрачје на увото

- Граници на јачината на звукот.
- Долна граница: праг на чујност.
- За 1000Hz: $p_0 = 2\ 10^{-5}$ (Pa).
- Поместување на молекулите: 10^{-9}cm
- Горна граница: 120 dB. Граница на болка:

$$20log\frac{p_{max}}{p_0} = 20log10^6 = 120dB$$



4.5 Ниво на звук

- Ниво на звук во (dB):

$$L[dB] = 2log\frac{p}{p_0}$$

$$L[dB] = 2log\frac{J}{J_0}$$

$$J_0 = 10^{-12}\frac{W}{m^2} = 10^{-6}\frac{W}{cm^2}$$

$\rho c=400(Kg/sm^2)$

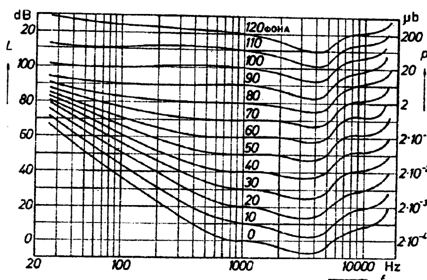
- Нивото на звук во dB има иста вредност за притисокот и за интензитетот на звук.
- dB е добра единица бидејќи субјективната јачина на звук е логаритамска функција од притисокот (Вебер-Фехнеров закон).
- Осетливоста на увото е 1dB.

4.6 Субјективна јачина на звук

- Јачина на звук во фони:

$$\Lambda[foni] = 20lof\frac{p}{p_0} = 20log\frac{J}{J_0} \quad \text{(на 1kHz)}$$

- Изофонски линии:



- Нивото на звук во *dB* е еднаков на јачината на звук во Фони за *f=1kHz*.
- На сите други фреквенции тие се разликуваат.
- Просечна јачина на звук:

Ниво на гласност	Јачина на звук (Фони)	Типичен пример
Многу бучно	120	Авионски мотор на 3m
	110	Компресор на 2м
	100	Мотор без ауспух, 10m
Бучно	90	Сирена од ауто на 5m
	80	Јако викање
Нор-мално	70	Градски сообраќај
	60	Канцеларија
	50	Нормален говор
Мирно	40	Тивок говор или музика
	30	Тивок стан
	20	Мирна градина
	10	Шумолење на лист

- Увото има своја временска константа при пораст=50ms и пад на звукот=350ms што се слуша.

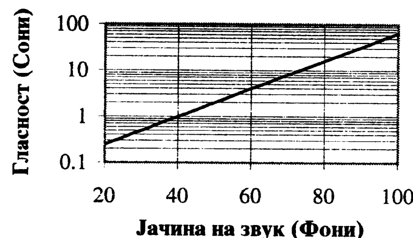
4.7 Гласност

- Фонската скала не покажува на прав начин како увото ја разликува субјективната јачина на звукот.
- Гласноста е мерка за субјективната јачина на звукот.
- Единица за гласност е "сон".

$S[\,soni\,] = 2^{0.1(\Lambda-40)}$, Λ во фони.

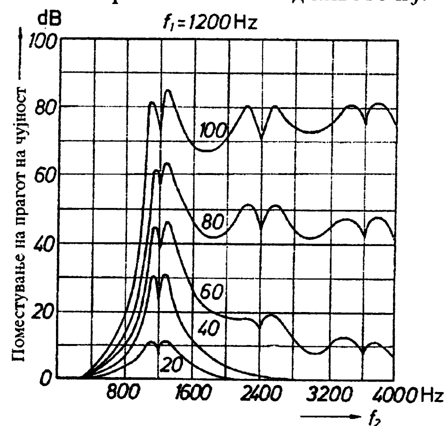
- При ова произволно е избрано дека 1 Сон = 40 Фони.

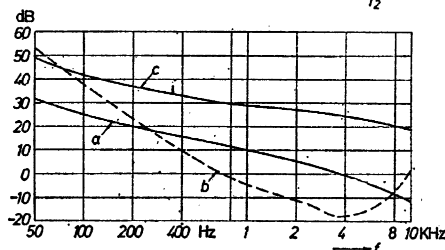
- Пример: два извори на звук кои сами создаваат бучава од 80dB, ако работаат заедно создаваат бучава од 83dB. ΔL = 10log2=3dB. +4%.
- Гласноста на еден извор е 16Сони, додека заедно даваат 20Сони. +25%.
- Скалата за сони е потврдена експериментално.



4.8 Ефект на маскирање

- Ако има друг звук во просторијата се пречи во слушањето. Тоа е ефект на маскирање кој се јавува поради начинот на работа на базиларната мембрана.
- Маскирањето зависи од нивото и *f*.





4.9 Јачина на сложен звук

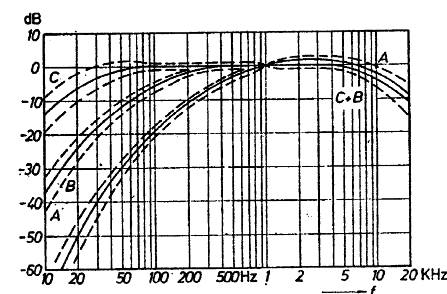
- Сложен звук со тесен спектар, побудува ист дел од базиларната мембрана:

$$p = \sqrt{p_1^2 + p_2^2 + p_3^2 + \ldots}$$

- Сложен звук со компоненти кои имаат многу различни f. Побудува различни делови од мембраната. За секоја компонента се бара гласност во сони, се собираат соните и тоа гласноста на сложениот звук.
- Сложен звук со многу компоненти: За секоја октава се мери јачината во фони, тие се претвараат во сони, се собираат и пак се враќаат во фони.

4.10 Мерење јачина на звук

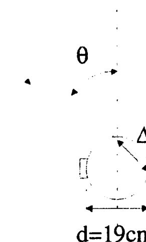
- Објективното ниво на звук се мери со микрофон + волтметар за мерење на ефективна вредност. Се дава во dB. АФК на системот е рамна.
- Субјективната јачина на звук (Λ) се мери со фонометар во Фони. АФК е како слика во огледало на изофонската линија за 40dB. Се означува со крива А а мерениот резултат е dB(A).
- Крива: B=70dB и C=100dB.

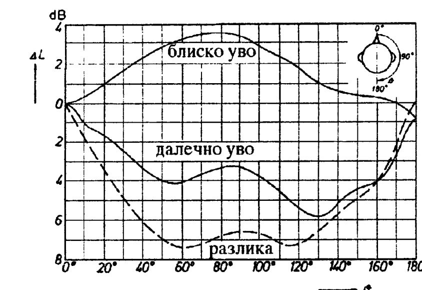


- За уште поточно мерење на субјективната јачина на звук, се користи филтер со 1/3, 1/2 или 1/1 октава за претходната метода.
- Фонометарот има временска константа на пораст 35ms, 125ms или 1s (импулсен, брз или спор одзив).

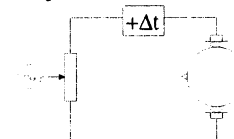
- Временската константа на опаѓање кај фонометарот е 3s.
- Субјективно мерење: Човек слуша на слушалка променливо ниво на звук и го споредува со звукот што се мери.

4.11 Локација на изворот на звук





$\Delta t = \dfrac{\Delta l}{c}$, $\Delta\varphi = \omega t = 2\pi f \Delta t$



- Интензитетот и временската разлика се регистрираат независно и тие ја одредуваат насоката на изворот.
- Човек осеќа разлика ва аголот од 3^0. Тоа е временска разлика од 30μs.
- Доцнењето на еден звук да е <50ms, да бидат ист звук. Ако е Δt>50ms тоа е ехо.
- Хасов ефект, закон на прв фронт на бранот. Со тоа се одредува изворот во затворен простор.

5. ГОВОР И МУЗИКА

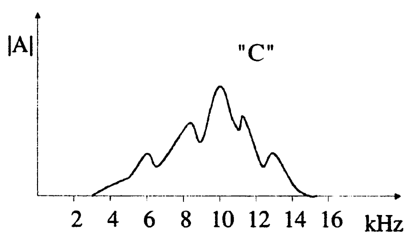
5.1 Карактеристики на говорот

- Говорот се произведува со помош на белите дробови, душникот, гркланот со гласните жици, ждрелото со ресичка, усна и носна празнина.



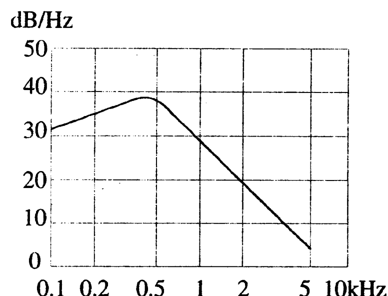
- Самогласки и согласки:





Вокал	Подрачје на формантот (Hz)
У	200 - 400
О	400 - 800
А	700 - 1200
Е	400-700 и 1800-2500
И	200-400 и 2200-3200

- Основна *f*: машки глас 125Hz, женски 250Hz и детски глас 300Hz.
- Човекот зборува во слогови. Време траење на слогот 0.2s.
- Спектар на просечен машки глас со ниво од 64dB на 1m од устата:



- динамика на говорот: 30dB.
- Ниво на звукот: 64dB/1m =10μW.
- Подигнат глас: 100μW.
- Викање: 300μW. Најмногу: 1mW.
- Во ТК пренос на говор бара динамика од 60dB.

5.2 Карактеристики на музиката

- Основните хармоници на музичките инструменти се од 25Hz до 4kHz, а високите хармоници се до 16kHz.
- Динамиката на музиката е 70dB.
- Акустичката моќност е голема. Симфониски оркестар со 75 изведувачи дава просечна моќност од 10mW, но постигнува и 1W.

5.3 Разбирливост на говорот и квалитет на музиката

- При преносот на аудио сигналот по електричен пат се јавуваат пречки т.е. сигналот се изобличува.
- Прашање: каков систем треба да се проектира за да се добие одреден квалитет при преносот.
- За говорот е битна неговата разбирливост. Таа се мери. Се изговараат еднослoжни зборови без значење - **логатоми**. Тие се пренесуваат и се бележат од слушател.

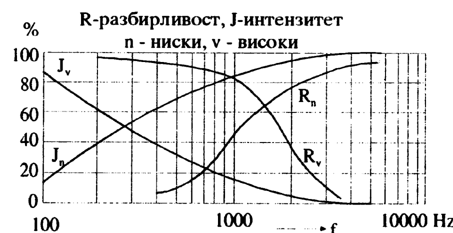
- Ако **разбирливоста** е над 75% тоа е многу добро. Слоговите што не се разбрани, се погаѓаат по смисла. Доволна 65% и не задоволува <60%.

$R[\%] = 96\ k_1k_2k_3...k_n$

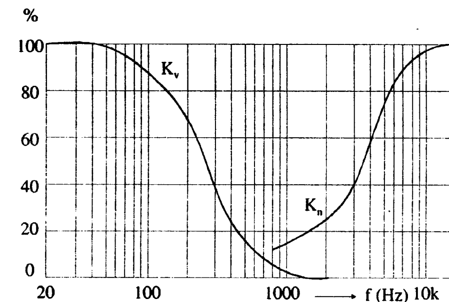
- k_i - коефициенти кои ја влошуваат разбирливоста на говорот.
- Квалитетот на пренос на музиката се проценува на основа на општ впечаток изразен во проценти.

1. Влијание на широчината на фреквенцискиот појас

- Колку треба да изнесува широчината на фреквенцискиот појас на пропуштање на системот, за да се добие одредена разбирливост.
- f_L=? f_H=?



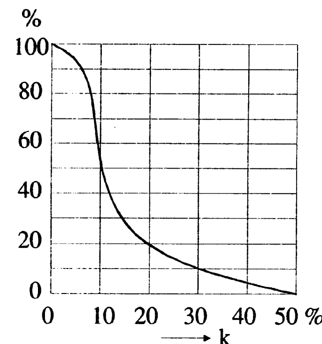
- Разбирливоста е 65% ако се пренесе сигналот до 1.5kHz или над 1.5kHz.
- Долниот опсег е интересен бидејќи содржи поголем дел од енергијата. Во долниот опсег се содржани главните форманти на вокалите.
- Во телефонија се пренесува говор од 300Hz до 3400Hz. Разбирливоста на говорот е многу добра.
- За пренос на музика се бара поширок опсег: 40Hz до 15kHz. Овие граници се усвоени кај Hi-Fi уредите и кај FM радиодифузија.
- Добар пренос со квалитет до 70%, ако е опсегот 80Hz - 8kHz.



- Старите грамофони имаат опсег од 200Hz - 2kHz.
- Добро е опсегот треба да се стеснува од двете страни. Геометриската средина на граничните фреквенции да биде меѓу 700 и 800Hz.

2. Влијание на изобличувањето

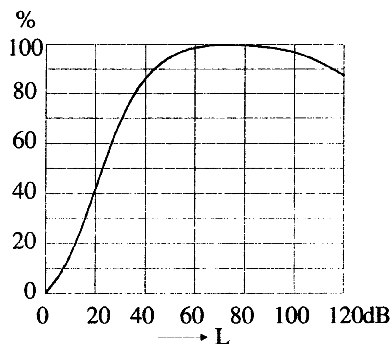
- Разликуваме линеарни и нелинеарни изобличувања.
- Линеарните изобличувања ја менуваат бојата на звукот. Тоа не влијае на разбирливоста. За музиката, 10dB (ЛИ) ја менуваат бојата на тонот но тоа не е непријатно.
- За нелинерните изобличувања е меродавен клир факторот или факторот на изобличување к. Ако е к>15-20% разбирливоста е лоша. Така лоши системи не постојат!



- За музика к<3%. Тоа изобличување се констатира. За Hi-Fi к<1%.

- Увото е почуствително за изобличу-вања на трет хармоник ($k_{3min}\cong 0.3\%$), отколку за втор хармоник($k_{2min}\cong 1\%$).
- Осетливоста на изобличувањата зависи и од јачината на звукот. Кај повисоко ниво на звукот, во игра доаѓа нелинеарноста на самото уво.
- Се јавуваат и фазни изобличувања. Затоа постојат прописи за дозволените разлики во времето на простирање на линиите за врски.

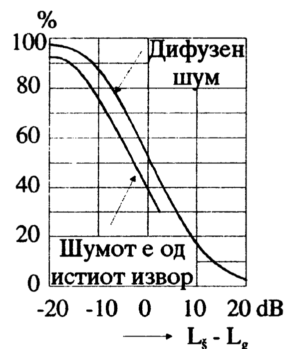
3. Влијание на јачината на звукот



- Разбирливоста е одлична ако нивото на говорот е од 50 до 100dB.
- Репродуцираната музика се слуша со пониско ниво од оригиналната. Така се менува нејзината боја што следи од изофонските линии. Затоа се подигаат басовите или се спуштаат високите фреквенции.
- Проблем е оригиналната динамика на музиката при репродукцијата, која изнесува барем 50dB. Тихите делови се маскирани со бучавата во собата, а јаката репродукција пречи на околината.
- Затоа се врши компресија на оригиналната динамика и таа се сведува на помал опсег.

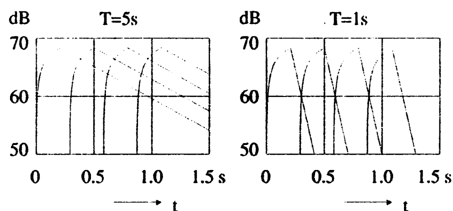
4. Влијание на шумот

- Шумот врши маскирање на корисниот сигнал.



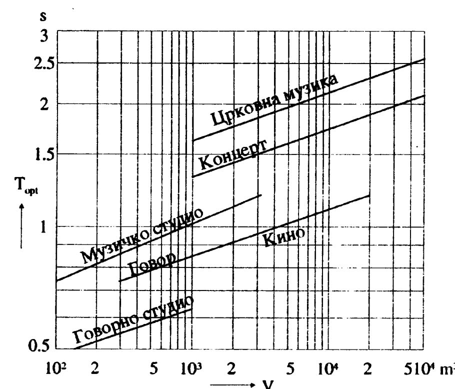
- Разбирливоста е е добра (>65%) ако е ($L_š$ - L_g) < -3dB.
- Ако шумот е поголем од говорот за 25dB, ништо не се слуша.
- Квалитетен пренос на музика имаме кога шумот е понизок за 20dB под најтихиот дел од музиката.

5 Влијание на реверберацијата (Т)

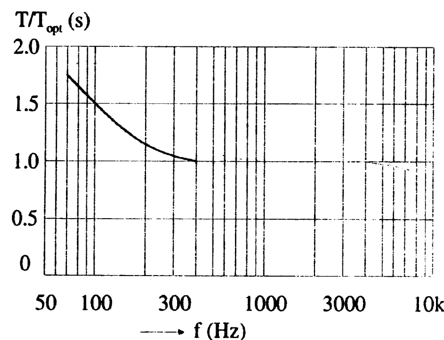


- Реверберацијата влијае на разбир-ливоста при директно слушање. При снимање, нема реверберација бидејќи се снима директен звук.
- Ако е Т >>, доаѓа до маскирање на наредните слогови и разбирливоста се намалува.
- Просечното ниво на звук во просто-ријата расте со Т. Тоа ја зголемува разбирливоста за слаб извор.
- Оптималното време Т за најдобра разбирливост зависи од волуменот на просторијата и од нивото на говорот.
- Музиката подобро звучи во просто-рија со поголема реверберација.

- Оптимално време на реверберација:



- Дијаграмот се однесува за средни фреквенции од 500 до 1000Hz.
- Времето на реверберација зависи од фреквенцијата:



5. Влијание на директниот и рефлектираниот звук

- Рефлектираниот звук не смее да доцни повеќе од 50ms за да не го маскира наредниот слог.
- Корисен звук е тој што доаѓа до слушателот во првите 30 до 50ms по директниот звук.
- Директниот звук е важен, тој ја одредува положбата на изворот.
- Рефлектираниот звук да биде помалку од 6 до 12dB над директниот звук.

- Штетни се јаките рефлексии и задоцнетите рефлексии >50ms.
- Слабо ехо (-20dB) не пречи на разбирливоста.

5.4 Анализа на звук

- Со анализата на звукот се одредува нивото на поедините компоненти од спектарот на звукот.
- Се користи фреквенциски анализатор.
- Аналогни и дигитални анализатори.
- ДА: се зема една порција на податоци и таа се анализира со FFT алгоритам за да се добие АФК.
- Анализа со "видлив говор" (visible speech):
- x-оска време,
- y-оска: фреквенција,
- нивото на компонентата се дава со нивото на зацрнување.

- Види страна 56:

5.5 Вештачки говор

- Се врши компресија на говорот за да се заштеди на системот за пренос.
- Синтетички говор.(1939 година). Се изговараат поедини зборови. Тие не се снимени туку се синтетизираат.
- Намена: за комуникација меѓу човекот и машината.
- Во медицина: за машинско читање на нормален текст за слепи лица.

6. Електроакустички претворувачи

- Претворуваат еден вид на енергија во друг вид.
- Електроакустички, електромеханички и механоакустички.
- Тие се аналогни претворувачи.
- Микрофон: акустичките осцилации ги претвора во електрични.
- Звучник: Електричните осцилации ги претвора во акустички.
- Претворувачите се реверзибилни!
- 1876, Бел го патентирал првоот електроакустички претворувач.

6.1 Основни карактеристики на микрофоните

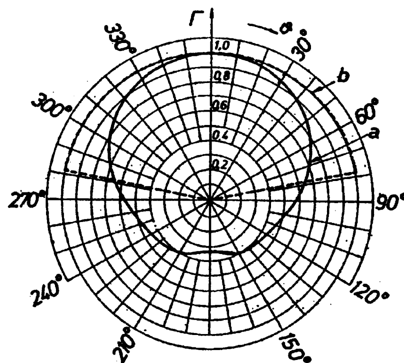
- Акустичките бранови делуваат на подвижната мембрана од микрофонот. Вибрациите на мембраната потоа се претворуваат во електрични осцилации.
- Према начинот на работа на микрофонот постои акустичка и електрична поделба.
- Микрофоните имаат одредени електроакустички карактеристики:
- Фактор на претворување или осетливост $T_{E,p}$:

$$T_{E.p}=\frac{E}{p} \qquad [V/Pa],\ [mV/\mu b]$$

- Индекс на претворување:

$$Ind.T_{E,p}[dB]=20\log\frac{E[V]}{p[\mu b]}$$

- Покажува колкаво треба да биде засилувањето на засилувачот за да се добие 1[V] од 1[μb].
- Фреквенциска карактеристика: Дијаграм кој ја дава промената на осетливоста во dB во зависност од f. Како референтно ниво се зема осетливоста за f=1kHz. (=0dB).
- АФК треба да биде рамна. Таа опаѓа на граничните фреквенции.
- Карактеристика на насоченост Г(ϑ): Осетливоста зависи од насоката од која наидува звучниот бран а кој зафаќа агол ϑ со оската на микрофонот. Се дава графички во хоризонтална рамнина.
- $\Gamma(\vartheta)=\frac{T_\vartheta}{T_0}$
- Г(ϑ) е симетрична по оската ϑ=0. Се дава за неколку различни *f*. Може да се црта и во dB. Средината на кругот е -30 или -40dB.



- Фактор на насоченост γ_m:

$$\gamma_m=\frac{4\pi}{\Omega_m}$$

- Ω_m е ефективен просторен агол на микрофонот.
- Динамички опсег на микрофонот: Најјакиот и најслабиот звук кој го претвора без изобличување.
- Долната граница е одредена со шумот што се јавува на излезот од микрофонот:

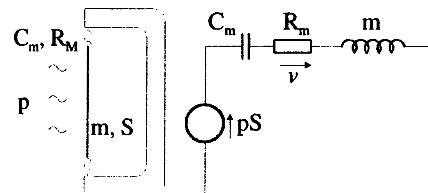
$$E_n[V]=\sqrt{1{,}64\cdot10^{-20}R\Delta f}$$

- Горната граница е одредена со изобличувањата кај мембраната. Таа е многу висока.
- Импеданса на микрофонот. Таа е комплексна. Микрофонот се оптоварува со голема отпорност од влезот на засилувачот.

6.2 Акустичка поделба на микрофоните

- Зависно од тоа како звучното поле ја движи мембраната постојат:
- Микрофон на притисок, недирективен. Брзината или поместувањето на мембраната зависи од притисокот.
- Градиентен микрофон, двонасочен. Мембраната се движи при постоење на разлика на притисок.
- Комбиниран или еднонасочен микрофон.

1. Микрофон на притисок или недирективен микрофон



- S - површина на мембраната,
- m - маса, C_m - еластичност и R_m - отпорности на мембраната.
- v - брзина на мембраната,
- p - притисокот кој делува на предната страна од мембраната,
- F - сила која делува на мембраната.

$$F=pS$$

$$v=\frac{pS}{\sqrt{R_m^2+(\omega m-\frac{1}{\omega C_m})^2}}$$

- Брзината е најголема при резонанса:

$$\omega_0=\frac{1}{\sqrt{mC_m}} \qquad v_0=\frac{pS}{R_m}$$

- Ова е режим на отпорно кочење.
- За ниски фреквенции: $\omega m \ll 1/(\omega C_m)$ и $R_m \ll 1/(\omega C_m)$:

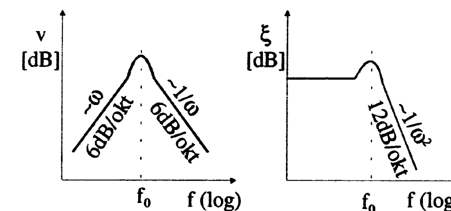
$$v_n=pS\omega C_m$$

- Режим на еластично кочење
- За високи фреквенции: $\omega m \gg 1/(\omega C_m)$ и $\omega m \gg R_m$:

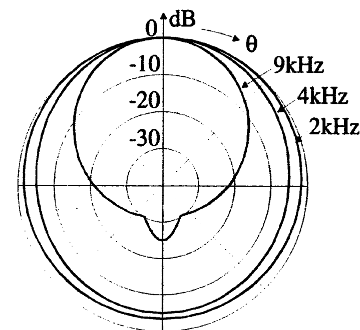
$$v_v=\frac{pS}{\omega m}$$

- Режим на инерцијално кочење.
- Поместувањето на мембраната е: $\xi=v/\omega$, односно:

$$\xi_0=\frac{pS}{\omega R_m} \qquad \xi_n=pSC_m \qquad \xi_v=\frac{pS}{\omega^2 m}$$



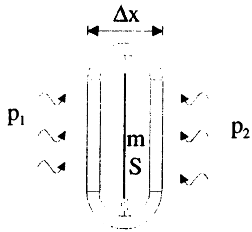
- АФК е рамна ако работи во режим на еластично кочење и ако емс е пропорционална на поместувањето.
- f_0 треба да биде над работното подрачје на микрофонот.
- Карактеристиката на насоченост за микрофон на притисок е кружна т.е. тој е недирективен микрофон.



2. Градиентен или двонасочен микрофон

- Звучните бранови доаѓаат од двете страни на мембраната.
- Силата на мембраната е пропорционална на разликата од притисоците:

$$F=S(p_1-p_2)$$



- Димензиите на микрофонот се мали према брановата должина на звукот:
- Δx << λ, земаме дека е $p_1=p$:

$$p_2 = p + \frac{\partial p}{\partial x}\Delta x$$

$$F = -S\frac{\partial p}{\partial x}\Delta x \approx v$$

- Градиентен или брзински микрофон

$$\frac{\partial p}{\partial x} = -jkp$$

$$F = jk\Delta xpS = j\frac{\omega \Delta xpS}{c}$$

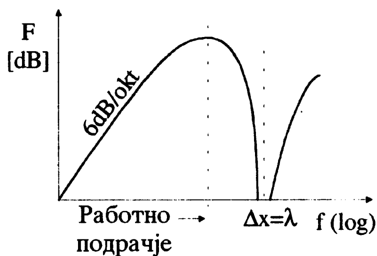
- Силата е пропорционална со *f*.
- Точниот израз за силата гласи:

$p_1 = pcos\omega t$, $p_2 = pcos(\omega t - k\Delta x)$,

$$F = 2pS\,sin\frac{k\Delta x}{2}cos[\,\omega t + \frac{\pi}{2}(1-\frac{2\Delta x}{\lambda}\,]$$

- За kΔx<<1, $F = k\Delta xpS$.
- Za f>> :

$$F = 2pS\,sin\frac{k\Delta x}{2}$$

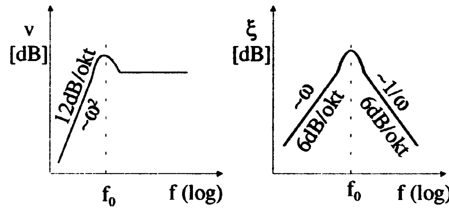


- Брзината и поместувањето изнесува:

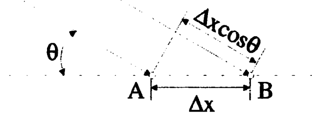
$$v_0 = \frac{\omega \Delta xpS}{cR_m} \qquad \xi_0 = \frac{\Delta xpS}{cR_m}$$

$$v_n = \frac{\omega^2 \Delta xC_m pS}{c} \qquad \xi_n = \frac{\omega \Delta xC_m pS}{c}$$

$$v_v = \frac{\Delta xpS}{cm} \qquad \xi_v = \frac{\Delta xpS}{\omega cm}$$

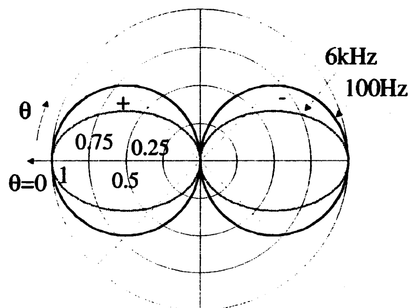


- АФК е линеарна ако емс е пропорционална на брзината на мембраната.
- Микрофонот работи во режим на инерцијално кочење.



- Разликата во должината на патот на звукот ја одредува насоченоста на микрофонот:

$$\Gamma(\vartheta) = cos\vartheta$$



- Ефект на близина до изворот. Ако градиентен микрофон е блиску до изворот, на ниски фреквенции има поголема осетливост.
- За *kr << 1*:

$$\frac{\partial p}{\partial r} = -\frac{1+jkr}{r}p = -\frac{p}{r}, \qquad F_2 = F_1/kr$$

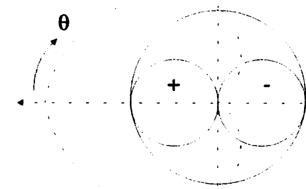
3. Комбиниран или еднонасочен микрофон

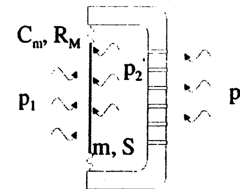
- Тој е комбинација од претходните два микрофона:

$$T = T_0 + T_0\,cos\vartheta = 2T_0\frac{1+cos\vartheta}{2}$$

- Карактеристика на насоченост:

$$\Gamma(\vartheta) = \frac{1+cos\vartheta}{2}$$

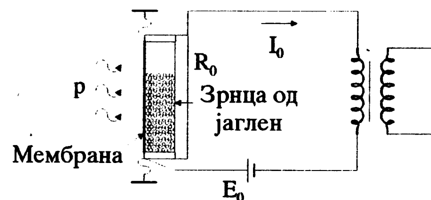




6.3 Електрична поделба на микрофоните

- Се делат по начинот на кој осцилациите на механичкиот систем се претворуваат во електрични осцилации.
- Има пет типа на микрофони.
- Најчесто принципите на работа на микрофонот се реверзибилни.

1. Контактен микрофон, јагленов микрофон



$$I_0 = \frac{E_0}{R_0} \qquad \Delta I = -\frac{E_0}{R_0^2}\Delta R$$

$\Delta R = h\,\xi$

- h е константа на пропорционалност

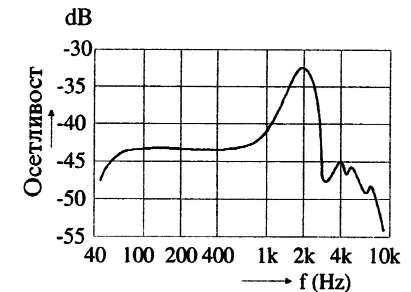
$$I = -\frac{E_0 h}{R_0^2}\xi$$

$$E = R_0 I = -\frac{E_0 h}{R_0}\xi$$

- емс е пропорционална на поместувањето на мембраната.
- Бидејќи микрофонот работи на притисок, треба да работи во режим на еластично кочење за да има рамна АФК.

$$T_{E,p} = \frac{E}{p} = \frac{E_0 hSC_m}{R_0}$$

- h и S се движат во одредени оптимални граници.
- E_0 не може да биде многу големо, се јавуваат варници меѓу зрнцата.
- R_0 не смее да биде мало, тече голема струја и се јавува варничење.
- C_m не смее да е големо, се намалува f_0 што не е добро.



- E_0 = 4-12V, R_0 = 30 - 300Ω,
- $T_{E,p}$ = 10mV/μb. голема!
- Претворувачот не е реверзибилен!

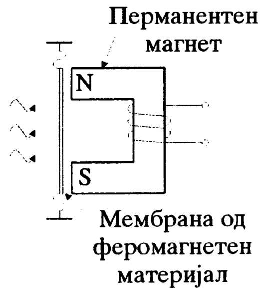
2. Електромагнетен микрофон

- Под влијание на притисокот се менува растојанието меѓу металната мембрана и магнетот. Се менува релуктансата во колото.

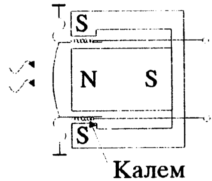
- Флуксот Φ се менува со поместувањето на мембраната ξ .
- ЕМС е :

$$E = -N\frac{d\Phi}{dt} \approx v$$

- Овој тип малку се користи.



3. Електродинамички микрофон



$$\vec{K} = [\vec{v}\vec{B}]$$

$$E = \int_l \vec{K}d\vec{l}$$

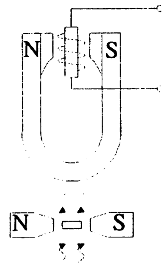
- B - индукција на перманентниот магнет,
- v - брзина на проводникот
- K - Електрично поле
- l - должина на проводникот
- E - индуцирана EMS.

$$E = Blv \sim v$$

- Ова е микрофон на притисок.
- Работи во режим на отпорно кочење.
- Се зголемува R_m за да се намали селективноста на колото.
- $v_0 = pS/R_m$,

$$T_{E,p} = \frac{BlS}{\ldots}$$

- Електродинамички микрофон со лента:

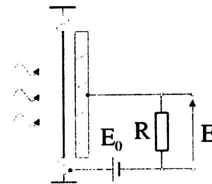


- Ова е градиентен микрофон.
- Треба да работи во режим на инерцијално кочење.
- $v_v = \Delta xpS/cm,$

$$T_{E,p} = \frac{BlS\Delta x}{cm}$$

- Барањата за оптимизација на $T_{E,p}$ се противречни.
- За микрофон со калем: $T_{E,p}$=0.1mV/μb, R_i = 100Ω.
- За микрофон со лента: $T_{E,p}$=0.01mV/μb, R_i < 1Ω.

4. Електростатички микрофон



- Кондензаторски микрофон. Мембраната се поместува и ја менува C на кондензаторот.

$$Q_0 = E_0C_0 \qquad E = \frac{E_0}{C_0}\Delta C$$

$$C_0 = \varepsilon\frac{S}{b} \qquad \left|\frac{\Delta C}{C_0}\right| = \left|\frac{\xi}{b}\right|$$

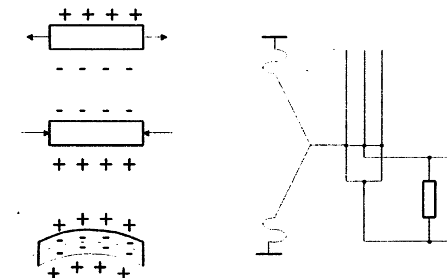
$$E = \frac{E_0}{\ldots}\xi$$

- Микрофонот работи на притисок. Се бира режим на еластично кочење за рамна АФК.

$$\xi_n = pSC_m \qquad T_{E,p} = \frac{E}{p} = \frac{E_0SC_m}{b}$$

- Спротивни барања за да биде $T_{E,p}$ >>
- C_m не смее да биде големо за да биде f_0 висока,
- b не смее да биде мало бидејќи се јавува изобличување и пробив на C.
- E_0 големо, прави пробив на C.
- S не е згодно да биди големо поради дифракција и функционалност.
- E_0=100V, b=10μm.
- $T_{E,p}$ =1mV/μb. големо.
- C_0=100pF.
- За добар пренос треба R>>1/ωC_0. Треба R=100MΩ.
- Кабелот на микрофонот не смее да биде долг за да нема голема големо C_k кое се јавува ǁ со R. Тоа го руши напонот на излезот E.
- C_k=100pF/m, 1m кабел го намалува E за половина или за 6dB.
- Во куќиштето на микрофонот се вградува напонско следило за да изврши трансформација на импедансата на микрофонот на ниска вредност. Така Z_0=200Ω.
- Ова е недостаток иако кондензаторските микрофони се многу квалитетни.

5. Пиезоелектричен микрофон



- Со деформација на пиезоелектричната плочка се јавува електричен полнеж.

$$Q = hS\xi$$

- h - константа на пропорционалност.
- Оваа равенка е слична како кај кондензаторски микрофон.

$$E = \frac{Q}{C_0} = \frac{hS}{C_0}\xi$$

- C_0=1000pF, R>1MΩ, $T_{E,p}$ = 4mV/μb,
- Осетлив на температура и влага.
- Нелинеарноста на кристалот не дава рамна АФК.
- Сепак има квалитетни микрофони кои служат за мерење.

6.4 Основни карактеристики на звучник

- Звучникот врши претварање на електрични осцилации во механички
- Се користат истите принципи на работа како и кај микрофонот, бидејќи тие се реверзибилни.
- Фактор на претворување, одзив:

$$T_{p,U} = \frac{p}{U}$$

- p е притисок на 1 m пред звучникот, U е напонот приклучен на звучникот
- Индекс на претворување

$$Ind.T_{p,U}\,[dB] = 20\log\frac{p[\mu b]}{U[V]}$$

- Референтен звучник: 1V дава 1μb.
- Фреквенциска карактеристика: АФК на одзивот во dB. Гранична фреквенција кога одзивот паѓа за 10dB.
- Ефикасност: Однос од притисокот p и корен од привидната моќност на напојувањето.

- $T_{p,P} = \dfrac{p}{\sqrt{U^2/Z}}$ $\left[\dfrac{Pa}{\sqrt{W}}\right]$
- Z импеданса на звучникот,
- Карактеристика на насоченост и фактор на насоченост:

$$\Gamma = \frac{T_\vartheta}{T_0} = \frac{p_\vartheta}{p_0}$$

- Г зависи од куќиштето во кое е вграден звучникот.
- Степен на искористување:

$$\eta = \frac{P_a}{P}$$

- P_a акустичка моќност, P електрична моќност. η е мало: ~1%.
- Импеданса: Потребна за правилно приклучување, се дава и Z=F(f).
- Номинална моќност: Најголемата моќност до која Z нормално работи. Гранична моќност: се оштетува.
- Фактор на изобличување: Звучникот работи во режим на голем сигнал и се јавува изобличување на сигналот.

6.5 Моќност на зрачење на звучникот

- Звучникот е вграден во бесконечно голема и крута плоча.
- Позната е импедансата на зрачење. За ниски фреквенции (ka<1), механичката отпорност на зрачење:

$$R_{mz} = S^2 R_{az} = a^4 \pi\rho c k^2$$

а – радиус на мембраната,

- Моќноста на зрачење е:

$$P_a = v^2 R_{mz} = v^2 a^4 \pi\rho c k^2$$

$$v = F / \sqrt{R_{mt}^2 + (\omega m_t - 1/\omega C_m)^2}$$

- Има три режими на работа:
- Режим на еластично кочење:

$$v_n = F\omega C_m$$

- Режим на отпорно кочење:

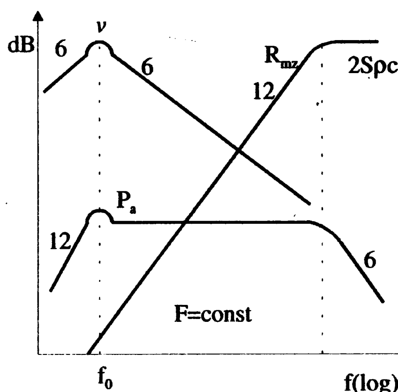
$$v_0 = F/R_{mt}$$

- Режим на инерцијално кочење:

$$v_v = F/\omega m_t$$

- За F=konst, звучникот треба да работи во режим на инерцијално кочење да не зависи од f. Резонантната фреквенција на механичкиот систем треба да биде ниско поставена, под работното подрачје на звучникот. Така:

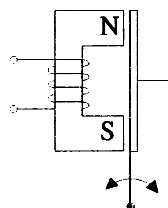
$$P_{av} = v_v^2 R_{mz} = F^2 a^4 \pi\rho / m_t^2 c = const.$$



6.6 Електрична поделба на звучниците

- Како се добива силата што делува на мембраната. Исти принципи како и кај микрофоните.

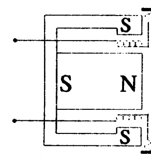
1. Електромагнетен принцип



$$F_0 = \Phi_0 H_0/2 = \Phi_0^2/S\mu_0$$

$$F = 2\Phi_0 L_0 I/S\mu_0 N \sim I$$

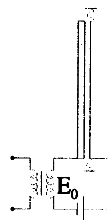
2.Електродинамички звучник



$$F = [BlI] \sim I$$

- Овој звучник има најдобри карактеристики и најчесто се користи.

3. Електростатски звучник



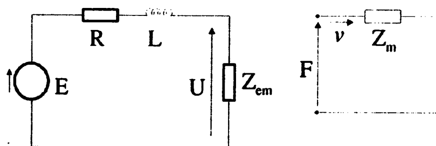
$$F_0 = Q_0^2/2C_0 b = C_0 E_0^2/2b$$
$$F = E_0 C_0 U/b \sim U$$

4. Пиезоелектричен звучник

$$F \sim U$$

6.7 Елексторстатски карактеристики на електродинамички звучник

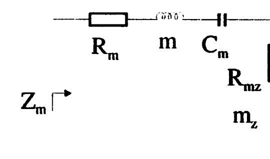
- Звучникот работи во режим на голем сигнал. Електричното коло е оптоварено и од импедансите на механичкото и акустичкото коло.

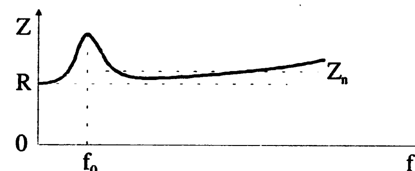


$U = Blv$ $I = U/Z_{em}$ $v = F/Z_m$

$F = BlI,$ ⇒ $Z_{em} = (Bl)^2/Z_m$

- Ова е израз за пресликување на механичката импеданса во електричното коло.
- C → L и обратно,
- Мала Z → во голема Z и обратно.





Z_m

Z

$$Z_m = R_m + R_{mz} + jX_m$$

$$Z_{em} = (Bl)^2/Z_m = (Bl)^2/(R_m + R_{mz} + jX_m)$$

$$Z_{em} = (Bl)^2(R_m + R_{mz} - jX_m)/[(R_m + R_{mz})^2 + X_m^2]$$

$$R_{emz} = (Bl)^2 R_{mz}/[(R_m + R_{mz})^2 + X_m^2]$$

- Во режим на инерцијално кочење:

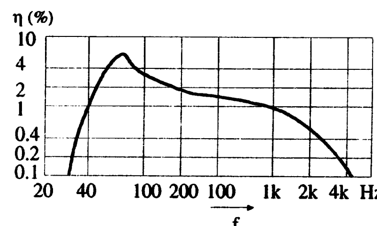
$X_m = \omega m_t,$ $m_t = m + m_z,$

$$R_{emz} = (Bl)^2 R_{mz} / \omega^2 m_t^2$$

$P_a = I^2 R_{emz}$ $P = I^2 R_d$

$$\eta = P_a/P = R_{emz}/R_d = (Bl)^2 R_{mz}/R_d \omega^2 m_t^2$$

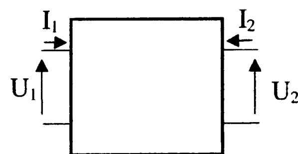
$$\eta = (Bl)^2 a^4 \pi\rho / R_d c(m + m_z)^2$$



- B=1T, l=3m, R_d=4Ω.
- η = 1 – 3 %

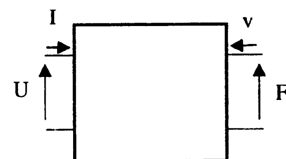
6.8 Електромеханички трансформации

- Електричен четворопол:

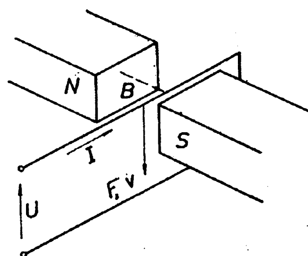


$$U_1 = Z_{11}I_1 + Z_{12}I_2$$
$$U_2 = Z_{21}I_1 + Z_{22}I_2$$

- За пасивен четворопол $|Z_{12}| = |Z_{21}|$
- Електромеханички четворопол:



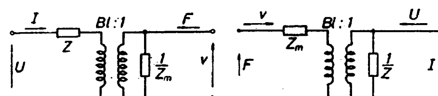
6.8.2 Електродинамички претворувач



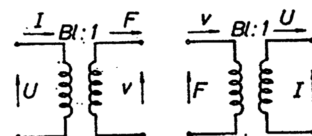
$$U = ZI + Blv$$
$$F = -BlI + Z_m v$$

$$U = \left[Z + \frac{(Bl)^2}{Z_m}\right]I + \frac{Bl}{Z_m}F$$
$$v = \frac{Bl}{Z_m}I + \frac{1}{Z_m}F$$

- Електродинамички четворопол:

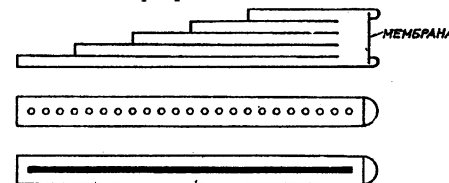


- Електродинамички трансформатор:

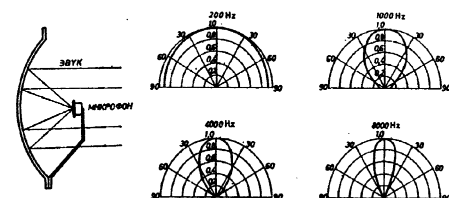


7.6 Специјални микрофони

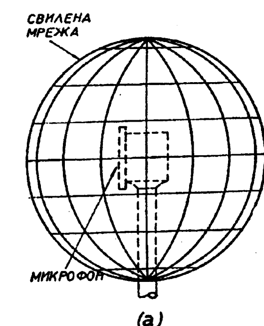
1. Насочен микрофон:
- Телемикрофон:



- Микрофон со рефлектор:



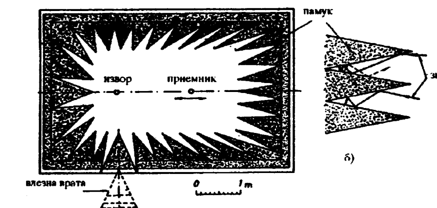
2. Заштитник од ветер:



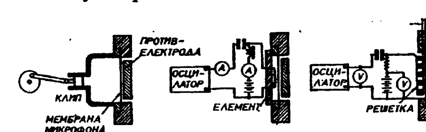
(a)

7.7 Испитување на микрофон

1. Антисонорна просторија:

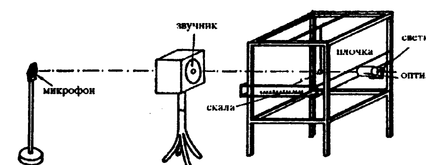


2. Баждарење на микрофон:
- Баждарење на притисок:Пистофон, Термофон, Електростатички актуатор.



$$p = q\frac{1}{\omega C_a} = \frac{S\xi\rho c^2}{V}$$

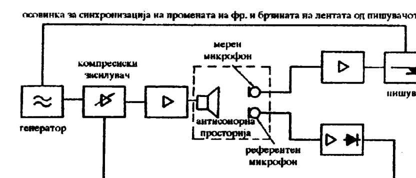
- Баждарење во слободен простор:



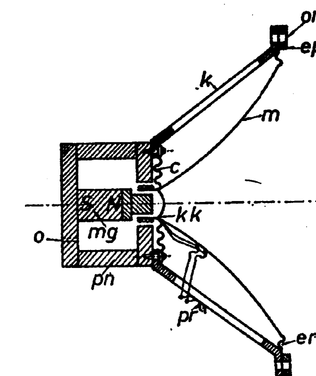
$$M = \frac{4}{3}\rho a^3 v^2 \sin^2 2\vartheta = S\varphi$$

4. Мерење на карактеристиките на микрофон

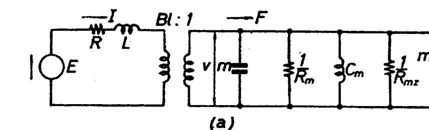
- Се користи микрофон еталон.
- Фреквенциска карактеристика
- Карактеристика на насоченост се мери во антисонорна просторија.
- Импедансата на микрофонот се мери со методи за мерење на импеданса.

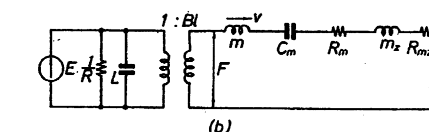


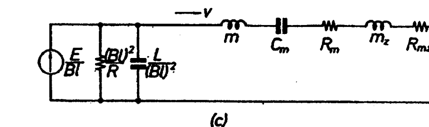
8. Електродинамички звучник

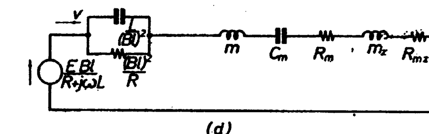


1. Репродукција на ниски фреквенции

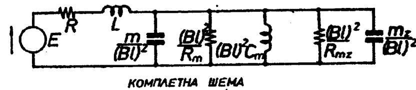

(a)

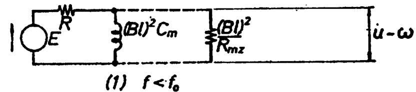

(b)

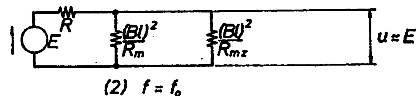

(c)

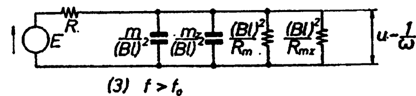

(d)

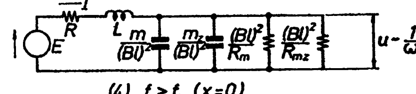
- Еквивалентна шема на звучникот за пет фреквенциски подрачја

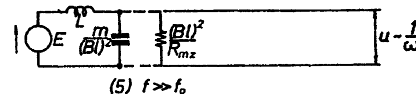








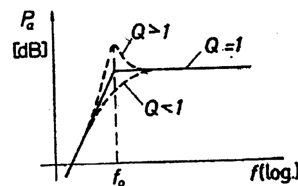




$$P_a = \frac{U^2 R_{mz}}{(Bl)^2} = \frac{E^2 (Bl)^2 R_{mz}}{R_d^2 \omega^2 m_t^2}$$ за случај (4).

- Фактор на квалитет на звучникот:

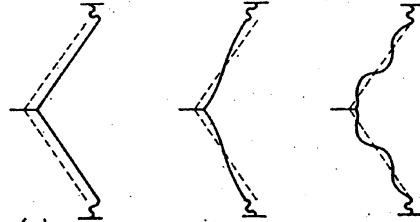
$$Q = \frac{\omega_0 m_t R}{(Bl)^2}$$



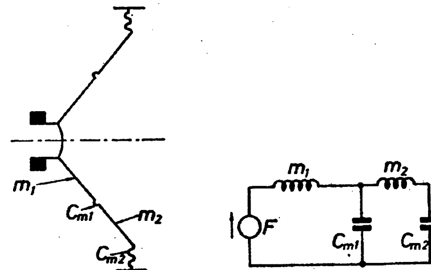
3. Репродукција на високи тонови

$$\eta = \frac{(Bl)^2 R_{mz}}{R_i \omega^2 m_t^2} \approx \frac{S}{\omega^2 (m_t + \beta S)^2}$$

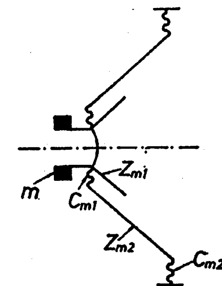
- β е константа на мембраната.
- Степенот на корисно дејство паѓа со пораст на фреквенцијата а расте со намалување на површината.
- Појава на бранови на флексија.



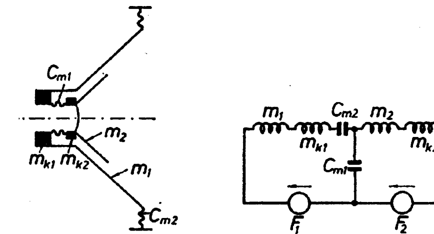
- Сакаме да ја намалиме површината на мембраната на високи f.
- Мембрана поделена со еластична врска:



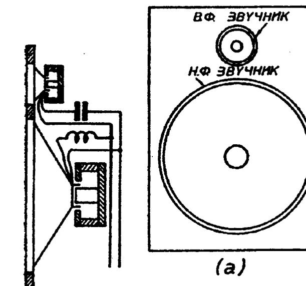
- Звучник со две мембрани:

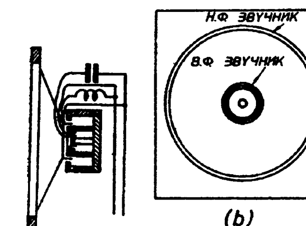


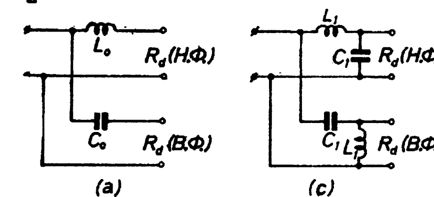
- Звучник со два калема и две мембрани:



4. Комбинирани звучници





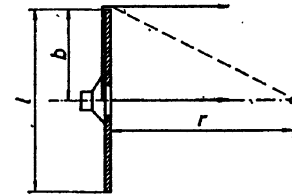


5. Изобличување

- На ниски фреквенции при големи амплитуди на мембраната.
- Појава на субхармоници при вибрирање на мембраната.
- На високи фр. се јавува изобличување поради Доплеров ефект. (За сложен сигнал.)

8.2 Вградување на звучник

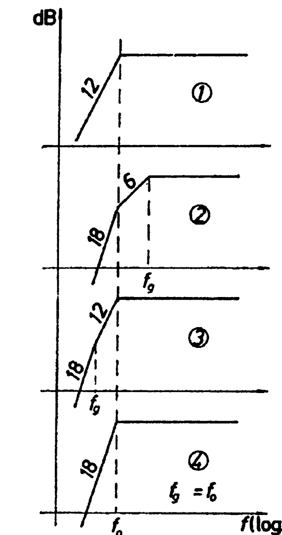
1. Плоча



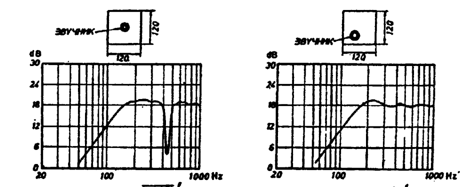
- Режим на дипол под f_g.

$l \cong 0.5\lambda_g$

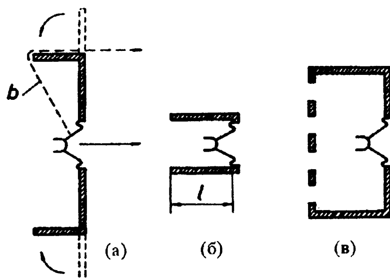
- Влијание на плочата на АФК на звучникот:



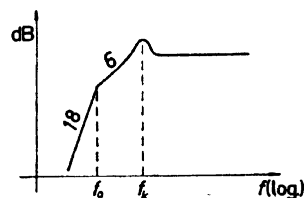
- Влијание на положбата на звучникот на АФК:



2. Отворена кутија



За (б): $l=\lambda_k/4$



3. Затворена кутија

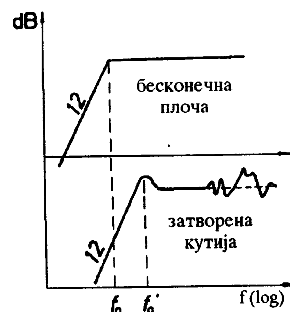
- Се зголемува крутоска на системот и резонантната фр. се зголемува.
- Дополнителната маса на воздухот што ја оптоварува мембраната е:

$m_z = \rho S\, 0.61a$

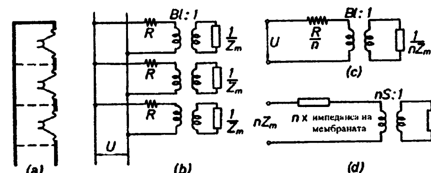
- Акустичката реактанса на кутијата:

$$X_a \; \frac{j\omega B\rho}{a\pi} - \frac{j\rho c^2}{\omega V}$$

- B е коефициент на звучникот B<0.85.



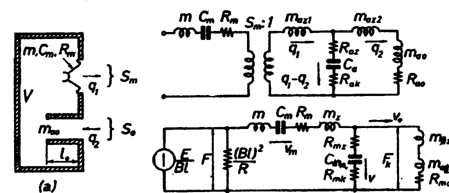
4. Кутија со повеќе звучници



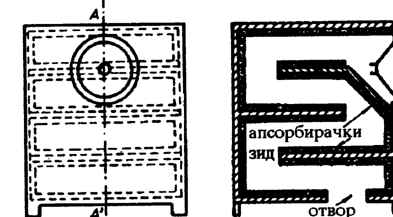
- Овој извор има голема насоченост. Се добива поголема моќност.

5. Бас-рефлекс кутија

- Се зголемува протокот и се намалува граничната фреквенција.

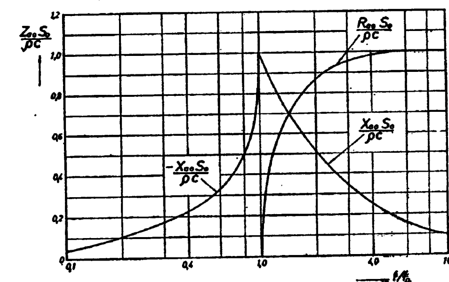


6. Лабиринт-кутија

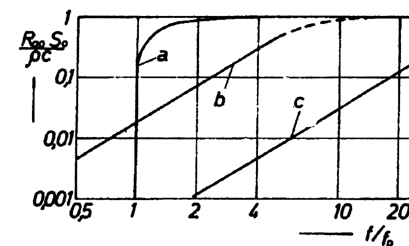


7. Експоненцијална инка

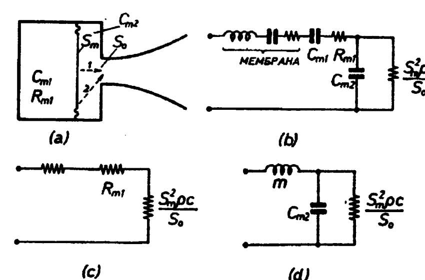
- Расте акустичката отпорност со која е оптоварен изворот и се зголемува факторот на корисно дејство (η=10-20%).



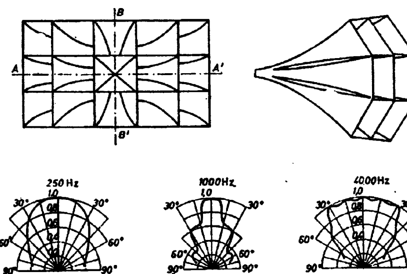
Акустичка отпорност за
a) експоненцијална инка,
b) конусна инка и
c) слободен простор.



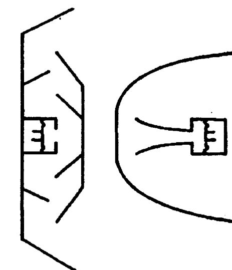
- експоненцијална инка и еквивалентна шема за поедини подрачја за работа:



- Повеќестепена инка:



- Свивање на инката:



8.4 Испитување на звучникот

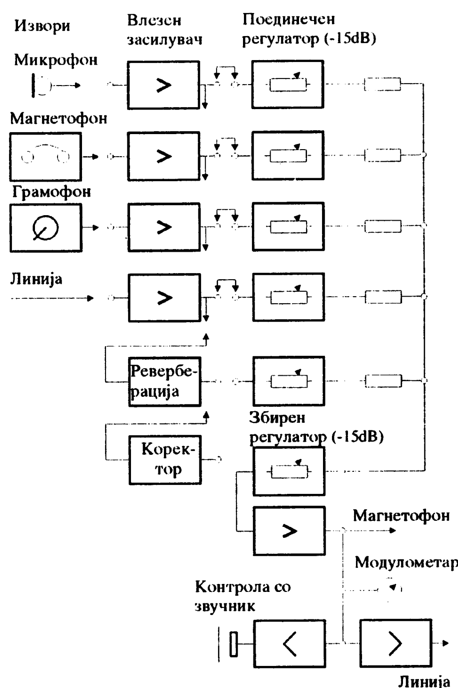
- Постојат норми за мерење на карактеристиките на звучникот.
- Се користи антисонорна просторија.
- АФК: микрофонот се поставува на растојание од 1 m од звучникот. Звучникот е вграден во куќиштето.
- Карактеристика на насоченост. За неколку различни фреквенции.
- Нелинеарно изобличување на сигналот.
- Импеданса на звучникот.

10. Електроакустички уреди

- ЕАУ обезбедува одредена обработка на сигналот и тоа: корекција на АФК, промена на динамиката, додавање на реверберација, мешање на различни сигнали и др.

10.1 Контролен пулт

- Контролниот пулт обезбедува полесно користење на повеќе извори на сигнал и мешање на повеќе сигнали во еден сигнал.



- Сите сигнали се засилуваат и се доведуваат на ниво од 0dB. Тоа одговара на напон од 1.55V и тоа е 2x0.775V (нормален генератор).
- Секој сигнал се регулира посебно, а се регулира и збирниот сигнал посебно.
- Постои ослабување на сигналот во јазлите каде што се сумира.
- Излезниот сигнал се засилува и се доведува на ниво од 0dB.
- Излезниот сигнал се снима со магнетофон, се репродуцира преку засилувач на моќност или се пренесува на некое друго место.
- Излезниот сигнал се контролира со звучник (субјективно) и со инструмент (објективно).

10.2 Поставување на микрофон

- Еден микрофон се користи за група на инструменти или за солистите (говорникот). Овие сигнали потоа се мешаат во заеднички сигнал.
- Микрофонот треба да го снима само директниот звук и да се избегне акустичкото преслушување.
- Постои еден главен микрофон кој ја снима целата церемонија и со него се воведува реверберацијата на просторот.

10.3 Регулатори на нивото, атенуатори

- Атенуаторите се од типот П, Т премостен-Т и сл. Тие имаат константна влезна и излезна отпорност.
- Слабеење во чекор од 1dB.

10.4 Филтри (коректори)

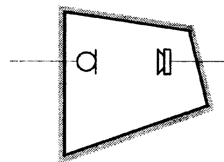
- Се коригира АФК на нејзините граници со благо подигнување или спуштање.
- Се елиминираат компонентите под или над некоја фреквенција.
- Благо се подигнува дел од спектарот кој ги содржи најважните компоненти на некој сигнал за тој да се истакне.
- Се користат пасивни и активни филтри.

5. Модулометри

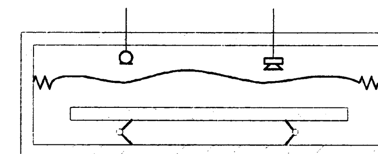
- Инструмент за мерење на нивото на сигналот. Името доаѓа од таму што со овој аудио сигнал се модулира носечката фреквенција на предавателот во радио и ТВ станицата.
- Не смее да се јави премодулација: при тоа се јавува изобличување на сигналот на страна на приемот, се генерираат виши хармоници кој навлегуваат во опсегот на соседната радиостаница.
- Врвната вредност се држи под контрола а се мери ефективната вредност на сигналот.
- Кај инструментот се отклонува светлосен зрак над скалата. Скалата се протегнува од -40dB до +5dB. Подрачјето од 0 до +5dB е означено со црвена боја. Тоа е опомена да не се работи во тоа подрачје.
- Времето на одзив при пораст е 10ms. Светлосниот зрак паѓа за 40dB за 1.5 до 2s.
- VU metar - Volum unit, покажува средна вредност на сигналот а не врвна вредност. Се користи за снимање на звук за филм и ТВ.

10.6 Вештачка реверберација

- За постигнување на одредени звучни ефекти и за да се долови реалниот амбиент на слушање во салата.
- Реверберациона просторија: мана-големи димензии и фиксно време на реверберација.



- Реверберациона плоча: Времето се менува од 1s до 5s.



10.7 Поврзување на уредите

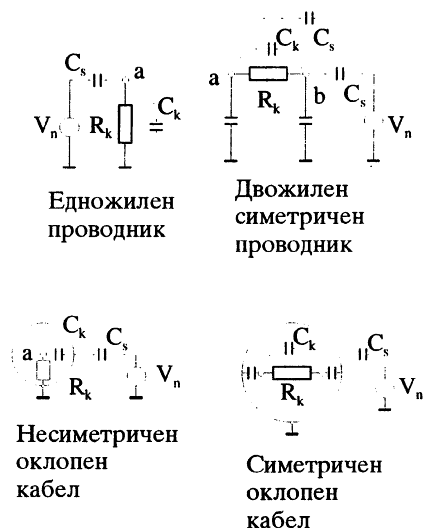
- Не се врши прилагодување на импедансите. Се бара: Z_s< и Z_l> од некоја зададена вредност.
- Се бара C_k на кабелот да биде голема импеданса во однос на импедансата на изворот Z_s. $(1/\omega C_k)>5R_s$. За кабел од 100m и C=100pF/m, f_H=15kHz, R_s<200Ω. Излезната отпорност на аудио уредите е од 50 до 200Ω.
- Кај поновите контролни пултови се работи со поголеми влезно/излезни импеданси.

10.8 Заштита од пречки

- Појава на термички шум:

$$\bar{v}_n = \sqrt{4kTBR}$$

- За аудио подрачје и мало R: v_n<1μV.
- Шум кај активните елементи. За специјални елементи односот сигнал/шум=80dB.
- Пречки од надворешни магнетни и електрични полиња. Тие се индуцираат во самите водови. Најдобри: симетрични оклопени кабли со усукани парици.
- Оклопување на уредите за заштита од магнетни полиња.
- Механички пречки поради лоши контакти, ладни лемови и лоши кабли. Контактите се позлатени или со контактни пера.



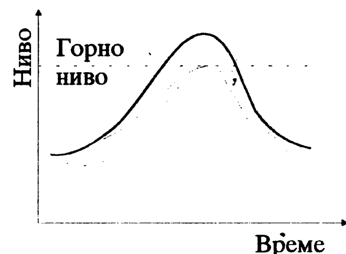
10.9 Заземјување

- Со правилно заземјување се отклонуваат пречките.
- Металните делови и оклопот на каблите се носи на ист потенцијал.
- Еден метален оклоп смее да се заземји во една точка. Ако се заземји во две точки се јавува затворена контура во која се индуцира пречки.
- Заземјувањето треба да биде како стебло.
- Заземјувањето на електроакустичките уреди се прави одвоено од заземјувањето за јака струја.

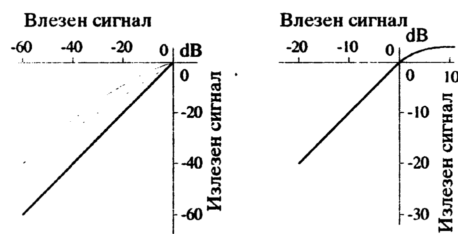
10.10 Регулација на динамиката

- Ограничена е динамиката на сигналот, долна граница е шумот а горна граница е појавата на изобличување.
- Микрофоните имаат голема динамика, засилувачите имаат помала и најмала динамика имаат системите за снимање до 60dB.
- Бидејќи шумот треба да биде барем 20dB понизок од сигналот, динамиката на сигналот е уште помала, односно таа е помала од оригиналната динамика на сигналот.
- Затоа динамиката при снимањето се компримира во граници од 40dB.
- Тоа е добро бидејќи се подига слабиот сигнал а јакиот се спушта, со што се добива толерантно ниво на звукот.
- Компресијата се прави рачно или автоматски. Постојан различни методи на рачна компресија. Лицето треба да го познава сигналот.

- Автоматска компресија:

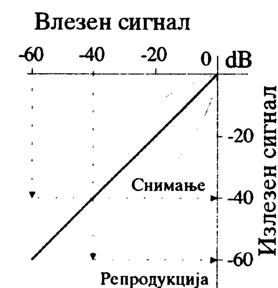


- Лимитер.

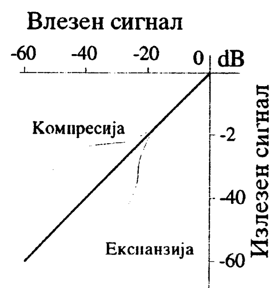


10.11 Автоматска компресија и експанзија на динамиката

- Со експанзија се враќа оригиналната динамика на сигналот. Карактеристиките се комплементарни.



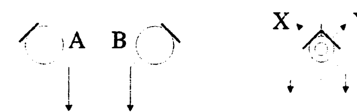
- Шумот што се јавува во сигналот по компресијата, се намалува.



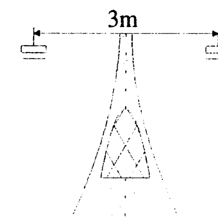
- Долби систем за компресија: опсегот во фреквенциски домен се дели на четири дела. Во секој од нив посебно се прави компресија и експанзија. Така шумот во подрачјето во кое нема сигнал, со експанзијата се потиснува. Се подобрува односот сигнал/шум за околу 10dB.

11. СТЕРЕОФОНСКИ ПРЕНОС

- Стереофонскиот пренос е познат пред II светска војна. По 1960 год почнува постојано емитување на радио програма во стереофонија.
- Ако сигналот се снима со вештачка глава и се репродуцира со слушалки, се јавува ефект дека изворот е горе над слушателот бидејќи со поместување на главата не се менува положбата на изворот.
- Со промена на нивото на сигналот во едното уво према другото (±12dB), или со негово доцнење (±2ms), се добива ефект на поместување на изворот во просторот.
- AB-стереофонија, со раздвоени микрофони:
- XY-стереофонија со коинцидентни микрофони, интензитетна стереофонија. Микрофоните се насочени.

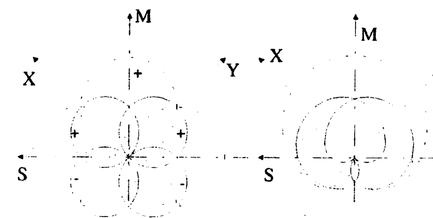


- Добра стереофонска репродукција:



11.2 Стереофонско снимање на звук

- Се користи насочен стерео-микрофон од XY-тип.
- Двонасочен и еднонасочен:



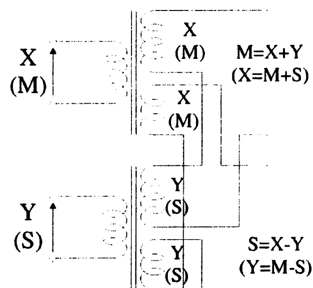
- Треба до постои компатибилност меѓу моно и стерео уред и моно и стерео снимка.

- Се емитира MS-сигнал:

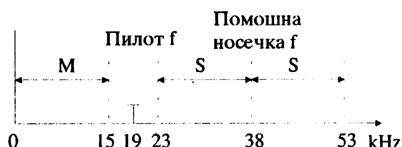
M=X+Y S=X-Y

X=M+S Y=M-S

- Диференцијален трансформатор:



- Модулација на стерео предавател:



- Се снима во MS техника, а во XY техника се врши контролата.

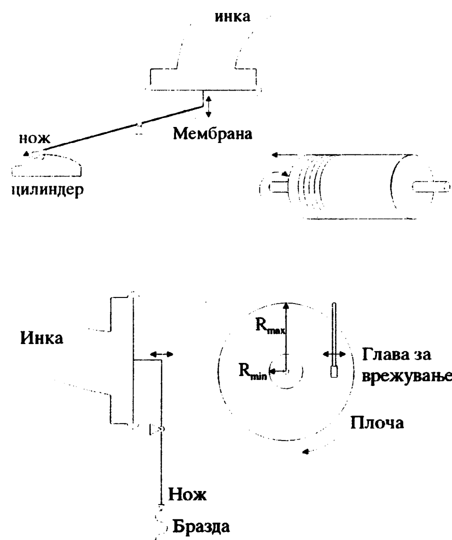
11.4 Псеудостерефонски пренос

- Се користи моно снимка која се филтрира за да се добијат стерео ефекти.
- Наједноставно: моно снимка да се репродуцира од два звучника.

- Квадрофонија: репродукција од 4 звучници. Нема поголем успех.

12. МЕХАНИЧКО СНИМАЊЕ НА ЗВУК

- Ја започнал Едисон 1877 год.
- Постапка со длабинско врежување на цилиндер.
- По 10 години Берлинер го вовел страничното врежување на плоча.



12.2 Широка бразда

- За да биде моќноста на зрачење при репродукцијата константна, треба браздата да се длаби со *v=konst.*
- Поместувањето на врвот на ножот е:

$$\xi = \frac{v}{\omega}$$

- ξ_{max} е ограничено на ниски *f*,
- На високи *f* брзината се намалува за да може иглата да ја следи браздата.

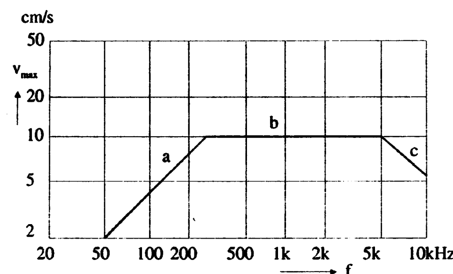
$$v \le \frac{u^2\sqrt{2}}{r\omega}$$

- Широчина на браздата b=150μm, ξ_{max}=65μm, игла r=65μm, n=78v/min. R_{min}=5cm.

$$v_{max} = 2\pi 250 \xi_{max} = 10.25 cm/s.$$

$$f_g = \left(\frac{R_{min} 2\pi n}{60}\right)^2 \frac{\sqrt{2}}{2\pi r v_{max}} = 5200 Hz$$

$$T = \frac{R_{max} - R_{min}}{n(b + 2\xi_{max})} = \frac{147-50}{78(0.150+2*0.065)} = 4.5 min$$

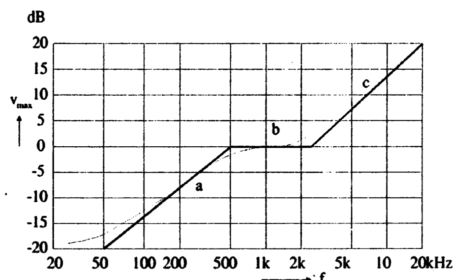


12.3 Шум кај плочата

- Поради рапавоста на површината на плочата, од зрнестата структура, материјалот е шелак.
- Зрнца со големина од 1μm даваат шум со константна амплитуда, а брзината на шумот расте со f. Затоа за плоча f_{max}<6.5kHz. Внатрешните бразди имаат помала *v* и имаат поголем шум

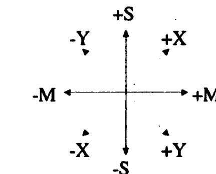
12.4 Микрорез

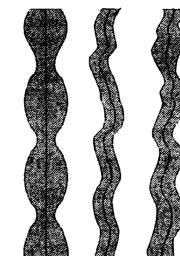
- Се воведува нов материјал, пластична плоча од винил. Се намалува шумот, се намалува брзината и се смалува запишаната амплитуда, широчината на браздата и врвот на иглата. Тоа е микрорез.
- Се воведуваат нови норми на запишување.



12.5 Сретео-рез

- Во 1958 г. се јавува стандардизирана стерео плоча. Компатибилност меѓу моно и стерео плоча и грамофон.





- Длабински, страничен и стерео рез.

	Широк рез	Микро: Моно	Стерео
Број на вртежи во минута	78	33 1/3 45	33 1/3 45
D на плочата mm	250 и 300	175, 250 и 300 за 33 1/3 175 за 45 вртежи	
D на прва бразда mm	-	168 за 45 вртежи	
D на задна бразда mm	95	108 за 45 вртежи	
Широчина на браздата mm	>120	>55	40 (>25)
Amax (μm)	65	32	25
Vmax (cm/s)	10	10	8
R на игла (μm)	60-65	20-26	13-18
Бразди на 1 mm	4	8-12	8-12

12.6 Режење на плочата

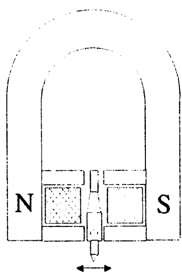
- Музичкиот материјал се снима на магнетофон.
- Со специјален уред – режач се нанесува на плоча на која е нанесена фолија.
- Ножот на главата на режачот е поврзан со врвот на еден електродинамички претворувач. Така електричните осцилации се претвораат во механички осцилации кои се нанесуваат на фолијата.
- Посебен режач за стерео снимка.

12.7 Фабричко производство на плочи

- Ножот го врежува записот на Al плоча на која е нанесен тенок слој од лак. Фолијата се посребрува за да стане проводна.
- Галвански се нанесува слој од никел + бакар. Тој се одвојува и е негатив, наместо бразди има шилци.
- Од негативот се прави позитив од метал. Тој се преслушува и под микроскоп со алат се отстранува заостанатиот материјал.
- Од позитивот со електролиза се прави нов негативен материјал, наречен матрица.
- Во преса (P=200at), се пресува во калап од матрицата, пл. плоча. (Винил хлорид и винил ацетат).
- 3000 плочи од една матрица.
- Пресувањето е брзо (предност).
- Се прават 3-5 позитиви и од секој позитив по 20 матрици.

12.8 Репродукција на механичкиот запис

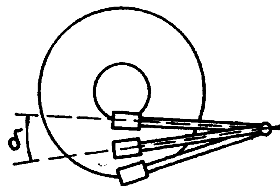
- Механичкиот запис се репродуцира со помош на звучница или грамофонска глава.
- Електромагнетна звучница:

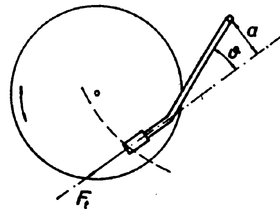


- $E \approx v$
- 1mV/(cm/s), Z_i ~ kΩ.
- Пиезоелектрична звучница: $E \approx \xi$, 100mV/(cm/s), Z_i е C. Треба засилувач со голема Z_i.
- Стерео звучница: да се индуцираат два сигнали и да нема преслушување меѓу каналите.
- За поедини типови на бразди и на звучници, потребна е корекција на АФК на ниски и /или на високи f.

12.9 Квалитет на репродукцијата на механичкиот запис

- На квалитетот на репродукцијата влијае истрошеноста на материјалот. Се оштетува и плочата и иглата. Налегнувањето на иглата да биде со помала сила.
- Иглата трае 100 часа (сафир) или 1000 часа (дијамантска).
- Нечистотиите во браздата е шум при репродукцијата.
- Начинот на водење на иглата по браздата создава изобличување.Таа треба да се води тангенцијално по браздата. Тангенцијална грешка.





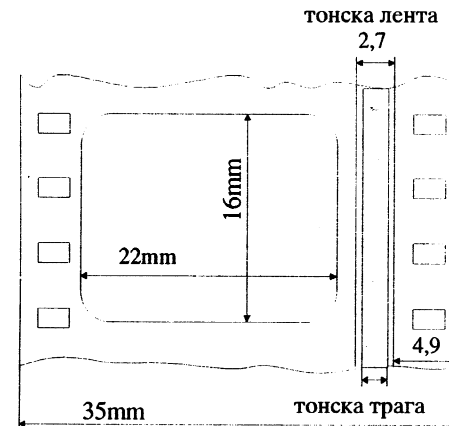
- Допирот на иглата со страните на браздата предизвикува деформација на сигналот.
- Погонскиот механизам предизвикува изобличување.
- Моторот треба да е лабаво прицврстен и избалансиран, а лежиштата да се добри.
- Преносот на вртежи треба да е точен, да нема појава на изобличување.
- Завивање. Промена на висината на тонот поради периодична промена на брзината u. Од ексцентричност на дискот или плочата или од вертикална деформација на

13. Оптичко снимање на звук

- 1890 год. – Румер.
- 1930 год. – Појава на звучен филм.
- Предност: со иста фото постапка се копира и сликата и звукот.
- Мана: сложена постапка, фотографска обработка на сигналот во лабораторија. Еднократна употреба на носачот на сигнал.

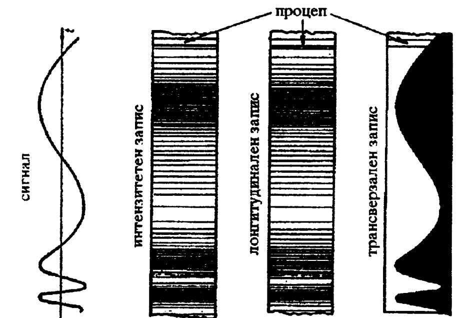
13.1 Општи карактеристики на оптичкиот запис

- Нормален филм: 35 mm широчина.
- Временската промена на аудио сигналот се нанесува преку еден отвор, по должината на филмската лента.

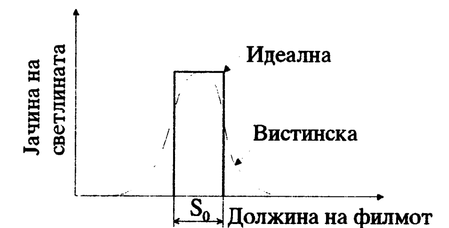


- 24 слики во секунда. Еден кадар 22x16mm.
- u=456mm/s (24 слики x 19mm/s).
- Се користат три начини на запис:
- Интензитетен,
- Лонгитудинален и
- Трансверзален запис.
- Широчината на процепот (S_0) треба да биде мала во однос на λ.
- За $S_0=\lambda$, средната вредност на сигналот е 0, нема запишан сигнал.
- Слабеење на високи f:

$$\left|\frac{\sin \pi S_0 / \lambda}{\pi S_0 / \lambda}\right|$$

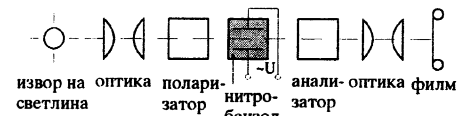


- $S_0 = 17 – 20\mu m$.
- f_H = 10kHz за оптичко снимање на звук.
- Ефективна широчина на процепот:



13.2 Запишување на филмска лента

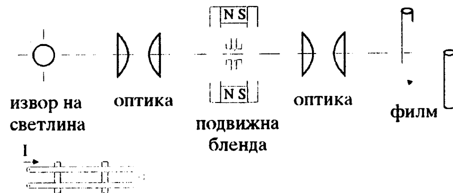
- Од извор на светлина со оптички систем се осветлува филмот низ тенок отвор.
- Со електричниот аудио сигнал се регулира светлосниот сноп.
- Снимање со интезитетна постапка со Керова клетка:



- Низ клетката поминува поларизирана светлина во една рамнина. Со напонот U се врти рамнината на поларизација.
- Низ анализаторот поминува само светлината со одредена поларизација. Така се менува интензитетот на светлината која

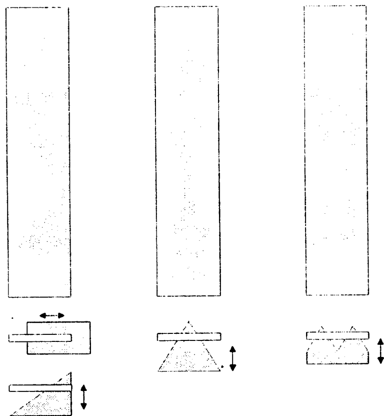
минува понатаму и која паѓа на филмската лента.

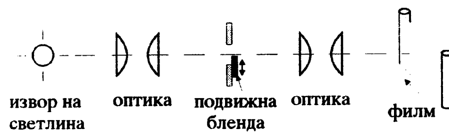
- Може и со модулација на интензитетот на светлината од изворот (тлеалка). Мана: слаба светлина →бара многу осетлив филм.
- Снимање со лонгитудинална постапка:



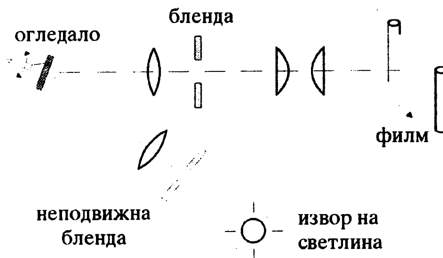
- Блендата ја сочинуваат два проводника низ кои тече струјата I на сигналот.
- Површината на блендата се менува со струјата I, со која се врти калемот.

- Снимање со трансферзална постапка: Се користи најмногу, има повеќе предности.
- Се користи еднострано, двострано или дволиниско двострано запишување (најчесто).

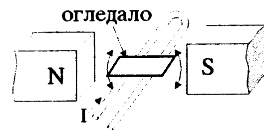




- Се поместува или блендата или процепот:



- Поместување на блендата или огледалото со електромагнетен, електродинамички или електростатички принцип.



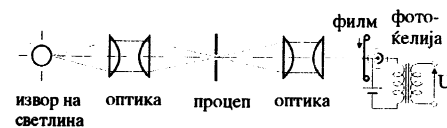
13.3 Лабораториска обработка

- Со светлината се експонира негатив филмот.
- Филмот треба да се развие. Тоа е деликатен процес. Филмот треба да ги има сите нијанси на светло-темни делови.
- Трансверзалниот запис е погоден бидејќи има само наполно светли или наполно темни површини.
- Претходно звукот се снима со магнетофон а потоа се нанесува на филмска лента.
- Звукот се снима дополнително во студио.
- Се користи специјален магнетна лента, со перфорација како филмска лента за синхронизација.

- Звукот се пренесува од магнето-фонската лента на филмска лента и се развива.
- Потоа се меша сликата и тонот на еден заеднички позитив.
- Се прави еден дупликат-негатив, од кој се добиваат нови позитив-копии со додадени титлови или синхронизиран говор на друг јазик.
- При ова квалитетот многу не се влошува.

13.4 Репродукција на оптичкиот запис

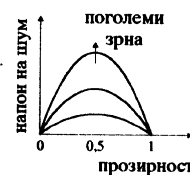
- Сите различни начини на запишување исто се репродуцираат.
- Се користи фото елемент на кој паѓа светлина од еден извор преку оптика и преку самиот филм.

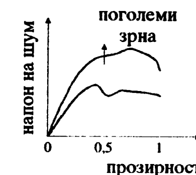


- Сијалица: 6V/5A (dc).
- Ac не се користи: шум од 100Hz.
- Фотоќелијата дава 25μA/Lumen.
- Нивото на шум е –70dB под најјакиот корисен сигнал.
- Се користи и полупроводничка фотодиода.

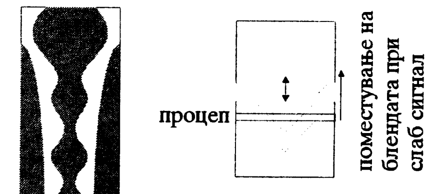
13.5 Квалитет на репродукцијата на оптичкиот запис

- Основен шум: поради зрнестата структура на емулзијата.
- Шумот е најголем кај полутемните површини.

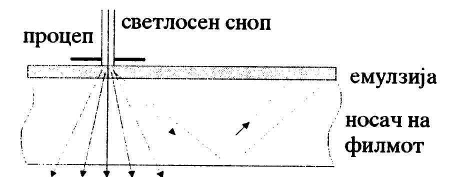




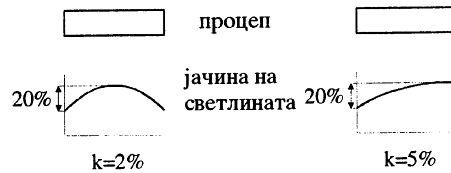
- Има шум и кај светлите површини поради нечистотии во лентата. Лента од ацетилцелулоза.
- Шум поради оштетување и гребнатинки.
- Трансверзалниот запис има најмал шум.
- За помал шум: се намалува светлата површина со посебна бленда. Овој сигнал има многу ниска фреквенција.
- Така динамичкиот опсег е 50dB.



- Појава на "светларници": се јавува тотална рефлексија на светлината.
- Ефективно се зголемува широчината на процепот (Интензитетен запис).



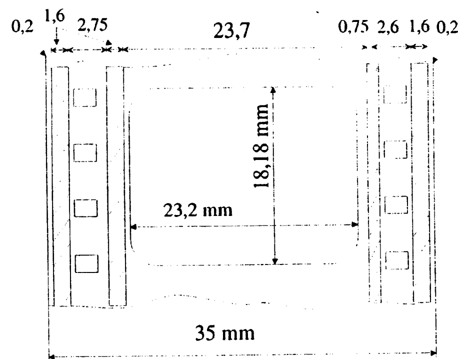
- Кај трансверзалниот запис се јавува полу сенка на рабовите.
- Тоа е изобличување на сигналот.
- Шум од перфорацијата 96Hz. Четири дупки по кадар. Од деформации на материјалот или од поголемо развивање кај дупките.
- При репродукција: изобличување поради нерамномерно осветлување на процепот.



- Изобличување поради неправилна положба на процепот (до 20%).
- Шум од уредот за погонување 24Hz или 24 слики/секунда.

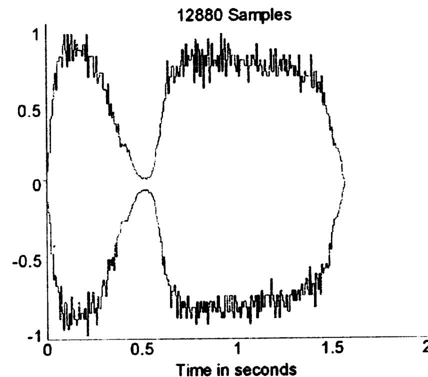
13.6 Стерофонски звук

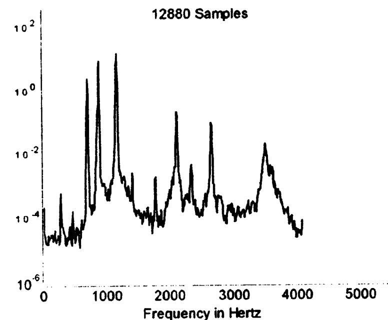
- Борба за филмска публика. Појава на ТВ и Hi-Fi стерео.
- Се зголемува филмското платно и се воведува стерео звук.
- Синемаскоп проекција 1:2,55.
- Проблем со компатибилноста со нормален филм (1:1,375).
- Синемаскоп филм со 4 канали МАГНЕТЕН запис.

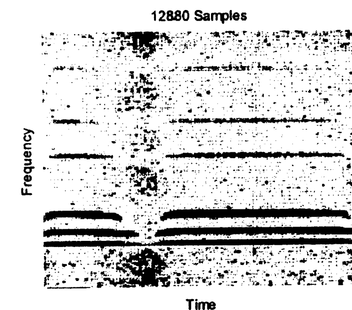


- Има 3 звучника зад платното: лево, десно и во средина.
- Четвртиот канал: амбиофонски ефект. Повеќе звучници во салата подалеку од гледачот.
- Панорамска проекција: 70mm. Шест магнетни тонски канали: 5 звучници зад платното и 1 амбиофонски ефект.

- Од страна 31: Видлив говор





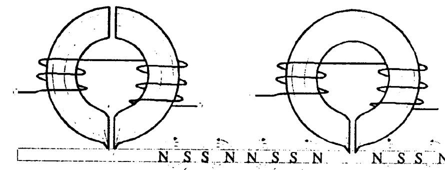


14 Магнетно снимање на звук

- 1900 год на Париска изложба Пулсен го изложил телеграфон со челична жица.
- Најмасовно: по 1941 год, кога е се користи предмагнетизирање со VF сигнал.

14.1 Општи карактеристики на магнетниот запис

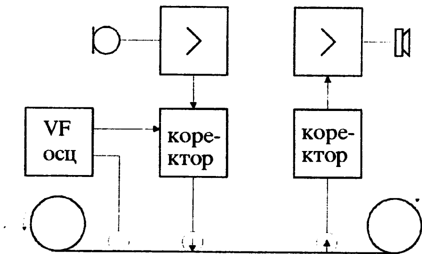
- Носач на записот е лента од пластика широка 6,25mm и дебела 25-50μm.
- На едната страна е нанесен слој од феромагнетик (10-20μm). Зрнца со димензии 0,1-1μm. Со специјален лепа се држат за носачот. (25-35%.)
- Магнетофон: има погон, глава за запишување, репродукција и бришење.



- Промената на флуксот на формираните магнети по должината на лентата одговара на брановиот облик на сигналот.
- λ = u/f

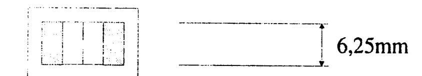
$$\frac{\Phi_{sr}}{\Phi} = \frac{1}{\cos\frac{2\pi x}{\lambda}} \frac{1}{s_0} \int_{x-s_0/2}^{x+s_0/2} \cos\frac{2\pi x}{\lambda}\, dx = \frac{\sin\frac{\pi s_0}{\lambda}}{\frac{\pi s_0}{\lambda}}$$

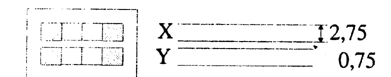
- u=76,2cm/s (30"/s).
- Денес: 38,1; 19,05; 9,5; 4,75; 2,4 cm/s.
- u ↓, времетраењето расте.
- За u=4,75cm/s, f_H=10kHz. λ=4,75μm.
- $\mu_{tr} << \mu_{gl}$. μ_{tr}=2-6; μ_{gl}=10000-90000.
- Процепот е пополнет со метал кој не е феромагнетик. Поради механичка стабилност, да не се собираат зрнца од феромагнетикот и вртливите струи да ги тераат магнетните линии низ лентата.
- Блок шема на магнетофон:

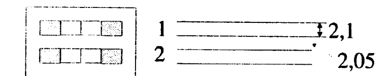


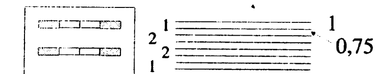
14.2 Стереофонски и повеќеканален запис

- Компатибилност:
- моно-стерео, лента-магнетофон.



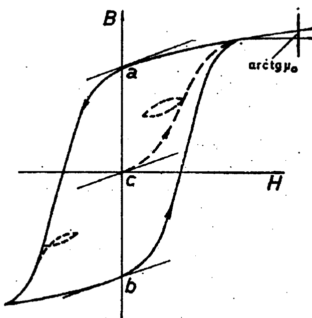




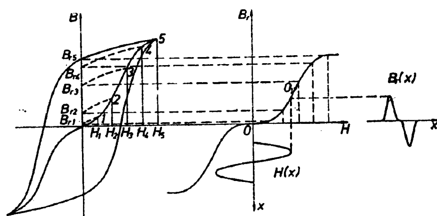


14.3 Запишување на магнетна лента

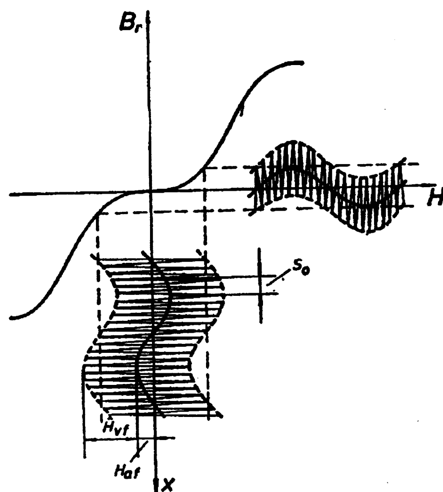
- Струјата на аудио сигналот создава магнетно поле кое ја магнетизира лентата.
- Зависност на магнетната индукција од јачината на магнетното поле:



- Кога лентата ќе ја напушти главата за запишување, на лентата останува реманентната индукција B_r.
- Динамичка карактеристика на лентата е зависноста на B_r од H.



- Динамичката карактеристика е нелинеарна. Тоа создава нелинеарно изобличување на снимениот сигнал со појава на непарни хармоници.
- Во почеток тоа е решавано со предмагнетизирање со dc струја за да се искористи линеарниот дел. Со тоа се намалува динамичкиот опсег на 40dB и се внесува шум во снимката.
- Подоцна ова е решено со користење на VF струја за предмагнетизирање.



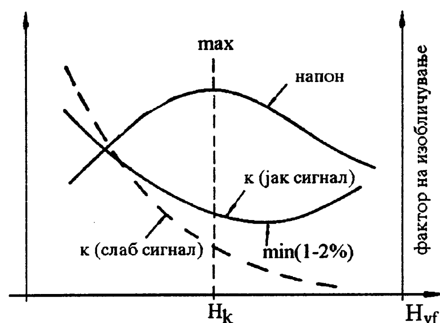
$$B_r = aH + bH^3 + \ldots$$

$$H_1 = H_{af} + H_{vf} \qquad H_2 = H_{af} - H_{vf}$$

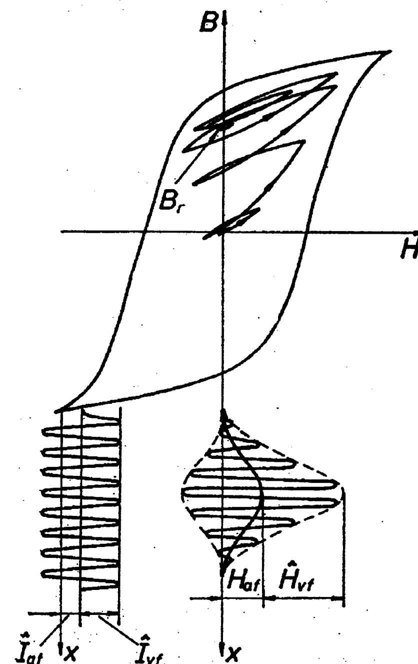
$$B_r = (B_{r1} + B_{r2})/2$$

$$B_r = (a + 3bH_{vf}^2)H_{af} + bH_{af}^2$$

- Првиот хармоник е зголемен а третиот останува ист. Со тоа се намалени изобличувањата а сигналот е засилен.



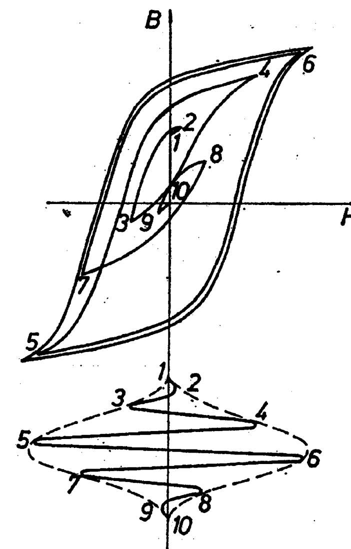
- Процесот на магнетизирање на лентата со (vf +af) сигнал:



- Главата кај професионални магнетофони има процеп s_0=20μm, L=10mH, I_{afmax}=2-5mA, I_{vf}=10-15mA. f=60kHz.

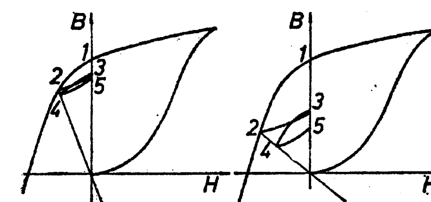
14.4 Бришење на магнетниот запис

- Бришењето на магнетофонската лента е голема предност над другите методи на запишување.
- Бришење со dc струја се користело порано, сега е напуштено.
- Денес се бриши со vf струја. Главата за бришење има процеп s_0=0.1mm, струјата за бришење е 100-150mA и f=30-60kHz.
- Така порано снимениот сигнал се ослабува до 75dB.



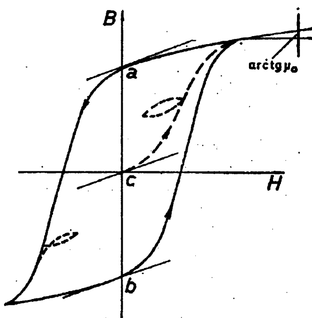
14.5 Саморазмагнетизирање

- Кога лентата ќе ја напушти главата, запишаниот флукс на лентата се затвора низ воздухот. Со тоа се зголемува магнетната отпорност во колото и точката на магнетизирање на лентата паѓа на права која зафаќа агол β со H оската. Ова се нарекува саморазмагнетизирање на лентата. При репродукцијата сигналот е намален. Тоа е поизразено на повисоки фреквенции (б).

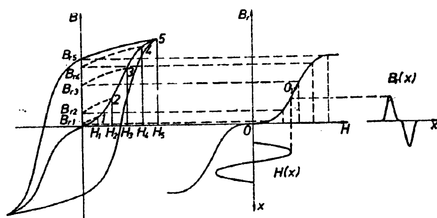


14.3 Запишување на магнетна лента

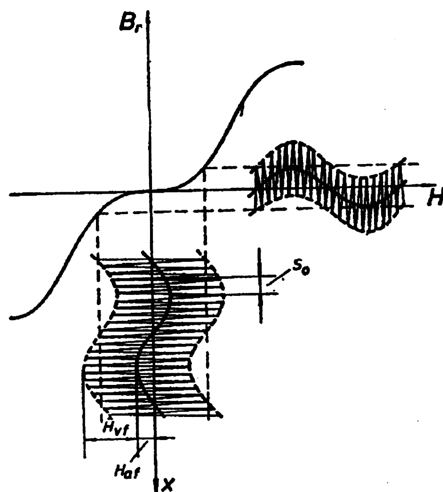
- Струјата на аудио сигналот создава магнетно поле кое ја магнетизира лентата.
- Зависност на магнетната индукција од јачината на магнетното поле:



- Кога лентата ќе ја напушти главата за запишување, на лентата останува реманентната индукција B_r.
- Динамичка карактеристика на лентата е зависноста на B_r од H.



- Динамичката карактеристика е нелинеарна. Тоа создава нелинеарно изобличување на снимениот сигнал со појава на непарни хармоници.
- Во почеток тоа е решавано со предмагнетизирање со dc струја за да се искористи линеарниот дел. Со тоа се намалува динамичкиот опсег на 40dB и се внесува шум во снимката.
- Подоцна ова е решено со користење на VF струја за предмагнетизирање.



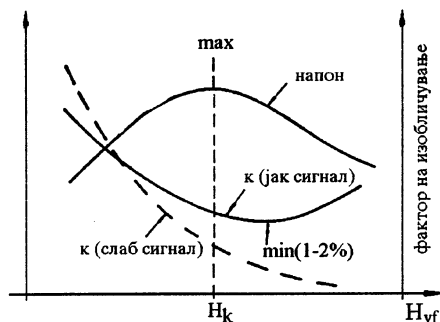
$$B_r = aH + bH^3 + \dots$$

$$H_1 = H_{af} + H_{vf} \qquad H_2 = H_{af} - H_{vf}$$

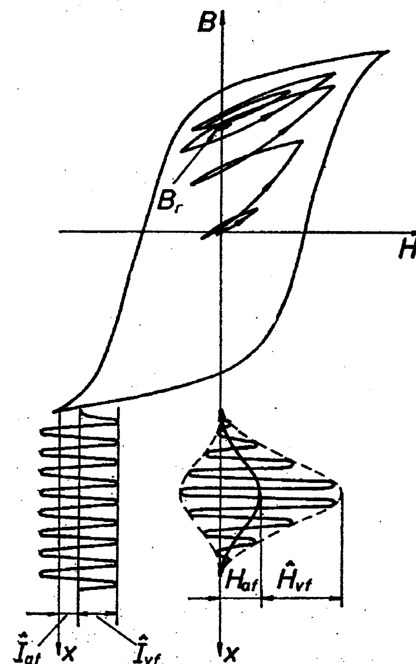
$$B_r = (B_{r1} + B_{r2})/2$$

$$B_r = (a + 3bH_{vf}^2)H_{af} + bH_{af}^2$$

- Првиот хармоник е зголемен а третиот останува ист. Со тоа се намалени изобличувањата а сигналот е засилен.



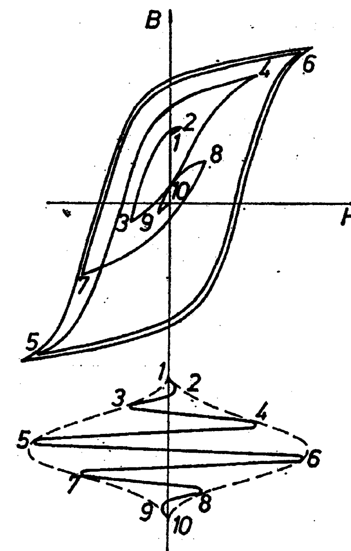
- Процесот на магнетизирање на лентата со (vf +af) сигнал:



- Главата кај професионални магнетофони има процеп s_0=20μm, L=10mH, I_{afmax}=2-5mA, I_{vf}=10-15mA. f=60kHz.

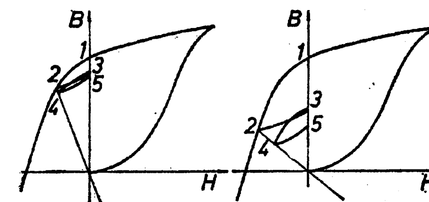
14.4 Бришење на магнетниот запис

- Бришењето на магнетофонската лента е голема предност над другите методи на запишување.
- Бришење со dc струја се користело порано, сега е напуштено.
- Денес се брише со vf струја. Главата за бришење има процеп s_0=0.1mm, струјата за бришење е 100-150mA и f=30-60kHz.
- Така порано снимениот сигнал се ослабува до 75dB.



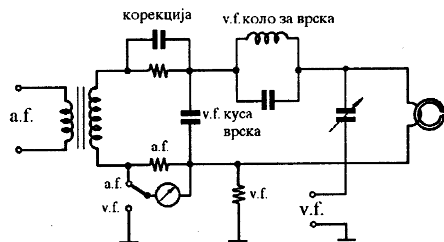
14.5 Саморазмагнетизирање

- Кога лентата ќе ја напушти главата, запишаниот флукс на лентата се затвора низ воздухот. Со тоа се зголемува магнетната отпорност во колото и точката на магнетизирање на лентата паѓа на права која зафаќа агол β со H оската. Ова се нарекува саморазмагнетизирање на лентата. При репродукцијата сигналот е намален. Тоа е поизразено на повисоки фреквенции (б).

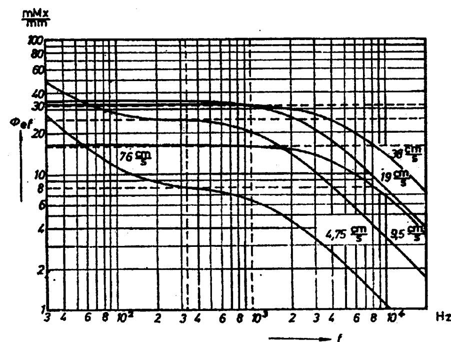


14.6 Нормирано магнетизирање на лентата

- Пред запишувањето се врши корекција на повисоките f за да се елиминира ефектот на саморазмагнетизирање.

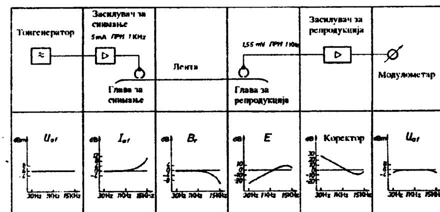


- Се нормира запишаниот флукс по единица широчина на тонскиот траг:



- Флуксот опаѓа на повисоки f. Тоа се надоместува во засилувачот за снимање и во главата за репродукција.
- Корекцијата на кривите за нормиран флукс се прави со RC коло со одредена временска константа.
- За брзина од 38cm/s флуксот од 32mMx/mm е 0dB.

- АФК кај еден магнетофон:

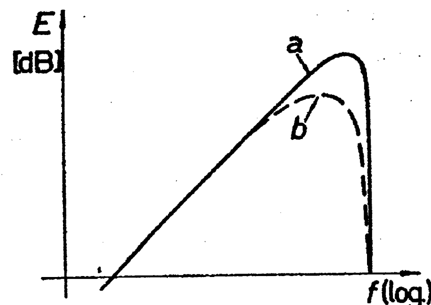


14.7 Репродукција на магнетниот запис

- Запишаниот флукс при репродукцијата се затвора низ главата и во неа индуцира емс:

$$E = -N\frac{d\Phi_r}{dt} = N\omega\Phi_r$$

- Индуцираната емс е пропорционална со запишаниот флукс но расте со f. Поради конечната широчината на процепот на главата, емс на високи фреквенции опаѓа.
- Оваа АФК на главата се коригира во засилувачот за репродукција со помош на RC коло.



14.8 Квалитет на репродукцијата на магнетниот запис

- Модулациски шум: од зрнестата структура на феромагнетикот.
- Лош контакт глава-лента; рапавост на лентата; нечистотија; излижана глава.
- Надворешно магнетно поле: главата се оклопува.
- Шум од лошо филтриран напон за напојување.
- Магнетно поле создадено од трансформаторот или моторот.
- Сигнал/шум = 60dB.
- Механизам за погонување:
  - v = const
  - максимална брзина при мотање,
  - добро налегнување на лентата на главата,
  - вертикално поставена лента во однос на процепот.
  - Брзо стартување и стопирање на лентата,
- Погон на двата котура, се вртат во спротивна насока за затегнување.
- Може еден мотор со соодветен фрикционен пренос.
- Механизам за затегнување, налегнување и центрирање на лентата.
- Завивање. Ексцентричност на котурите. До 8Hz промена на висината на тонот, на повисоки f: треперење (flatter). Константна брзина до 0,1%.
- Лентата мора да биде еластична но да не биде многу "жива".
- Феромагнетниот слој треба да биде рамномерен.
- Пресликување или копирање на соседните завои од лентата.
- Влијание на надворешни магнетни полиња на лентата.
- Пресликување меѓу соседните тонски трагови.
- Ефектот на пресликување се користи за брзо преснимување на повеќе ленти истовремено. Има помошно VF поле.

14.9 Примена на магнетното снимање

- Предност: лентата може да се брише и повторно да се снима, таа се кине и се продолжува со лепење.
- При репродукција не се влошува снимката
- Голема динамика, f_H до 7MHz кај видеорекордер.
- Репродукција по снимањето без никаква дополнителна обработка.
- Робусен на потреси. Се користи како преносен уред.
- Магнетоскопска лента: f=7MHz, v=40m/s.
- Специјална глава: цилиндер со четири глави кружно поставени. n=250v/s. Лента 5cm. Видео сигналот се запишува косо. Има сигнал за синхронизација и тонски траг.
- При одредени мерења сигналот прво се снима со маг. А потоа се анализира (застарено но добро).
- Магнетен запис ка компјутерите: дискета, диск и магнетна лента.

14.10 Мерење кај магнетофонот

- Се користи мерна лента, тест лента.
- Снимен е сигнал со дефинирани карактеристики по стандард.
- Со неа се нагодува излезното апсолутно ниво, АФК на засилувачот за репродукција вертикалноста на процепот.
- Со празна лента се нагодува системот за снимање.
- Посебни мерења на силата за затегнување, кочење и др.
- Мерење на фактор на изобличување, однос сигнал/шум и др.

КОМПАКТ ДИСК

1) CD - ROM
2) WORM - еднаш запиши, читај повеќе пати
3) CD - со повеќе запишувања

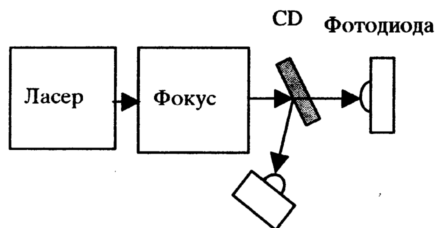
- Пластичен диск: почнува од внатре: најмало аксијално поместување
- D=120, 130, 200, 300, 360 mm.
- Капацитет: 600 - 12.000Mb

Предности:
- Голема густина
- Ниска цена по 1 бит
- Брз достап до информацијата
- Долг век на записот: >10год.
- Читање со глава на далечина: 1mm.
- Масовно и ефтино производство
- Складирање на слика, звук и дигитални податоци истовремено: мултимедија.

Недостаток:
- Не се брише.
- Со мал дефект (гребнатина) се губи информацијата.
- Максимална брзина: 2-5 Mbit/s.

Развој:
- Видео диск 1960-70 год. - Laser Vision
- CD-1969 год. Јапонија;
- 1979 год: Filips прва демонстрација,
- 1980 год Soni и Filips разработиле стандард кој во 1982 год станува меѓународен.





- Ласерски извор.
- Фокусирање.
- Системи за следење:
  - Систем за фокусирање и радијално следење.
  - Систем за тангенцијална корекција и управување со брзината на вртење на дискот.
- Систем за позиционирање на главата.
- Откривање и коригирање на грешка.